

ペルシャ湾アブダビ海域におけるサンゴ再生産力の 評価

著者	新田 洋一郎
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2011
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00001294/

修士学位論文

ペルシャ湾アブダビ海域における
サンゴ再生産力の評価

平成 23 年度
(2012 年 3 月)

東京海洋大学大学院
海洋科学技術研究科
海洋システム工学専攻

新田 洋一郎

目次

第Ⅰ章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.1.1 サンゴの役割と現状	1
1.1.2 ペルシャ湾アブダビ海域におけるサンゴの現状	2
1.1.3 サンゴ再生の取り組み	4
1.1.4 人工基盤を用いたサンゴ再生産力評価手法の開発	5
1.2 研究の意義	6
1.3 本研究の目的	6
第Ⅱ章 方法	8
2.1 予備調査（評価海域の選定）	8
2.2 サンゴ再生産力の評価	9
2.2.1 サンゴの現況把握	10
(1) サンゴ被度	11
(2) 生育サンゴの種類数	12
(3) 稚サンゴの種類・数	12
2.2.2 サンゴ幼生の加入量計測	13
2.2.3 稚サンゴの生残調査	13
2.3 評価器具	14
(1) 着床具	14
(2) マリンブロック	16
2.4 実験器具の設置と回収	17
2.4.1 架台の設置	17
2.4.2 実験器具の設置と回収スケジュール	19
2.5 解析方法	22
第Ⅲ章 結果	25
3.1 予備調査による海域選定結果	25
(1) Al Buzum (24° 23.165' N, 53° 04.712' E)	26
(2) Al Radim (24° 24.702' N, 53° 10.792' E)	28
(3) Mughirah (24°04.253' N, 53° 34.831' E)	30
(4) Al Dhabia (24° 21.799' N, 54° 06.136' E)	32
(5) Saadiyat (24° 35.937' N, 54° 25.287' E)	34

3.2 現況調査の結果.....	36
3.2.1 サンゴ被度と底質.....	36
3.2.3 生息サンゴの種類構成.....	39
3.2.4 海域への稚サンゴ加入.....	42
3.2.5 水温.....	44
3.3 セラミック着床具へのサンゴ幼生加入量.....	45
3.3.1 2010 年の幼生加入.....	45
3.3.2 2011 年の幼生加入.....	47
3.4 スラグセラミック着床具への稚サンゴ加入.....	49
3.5 プレート型マリンブロックへの稚サンゴ加入.....	50
第IV章 考察.....	51
4.1 アブダビ海域におけるサンゴ再生産力の評価について.....	51
4.1.1 アブダビ海域の概況（予備調査について）.....	51
4.1.2 Al Dhabia での評価結果について.....	52
4.1.3 Saadiyat での評価結果について.....	56
4.1.4 サンゴ再生産力評価についての総括.....	61
4.2 アブダビ海域のサンゴ再生に向けた提案.....	62
4.2.1 ミドリイシ属について.....	63
4.2.2 キクメイシ科について.....	63
4.2.3 ハマサンゴ科について.....	64
4.3 アブダビ海域におけるサンゴ再生に向けた研究の展開.....	65
参考文献.....	67
謝辞.....	71

第 I 章 序論

1.1 研究の背景

1.1.1 サンゴの役割と現状

造礁サンゴ（以下サンゴ）とは、刺胞動物門（Phylum Cnidaria）に属し、褐虫藻（zooxanthella）と呼ばれる渦鞭毛藻の一種（*Symbiodinium*）と共生する生物を指す（西平, Veron 1995）。褐虫藻は直径 10 μm ほどの大きさであり、サンゴの胃層細胞内に共生している。褐虫藻はサンゴの呼吸によって生じた二酸化炭素を利用して光合成を行い、光合成産物の約 9 割をサンゴが利用する。また、サンゴが排出するアンモニアやリン酸塩などの栄養塩も褐虫藻に摂取される。これらの共生関係が成り立つことで、サンゴは透明度の高い貧栄養海域でも生育できる。このように褐虫藻が光合成を行うことから、サンゴは熱帯から亜熱帯沿岸における基礎生産者として位置づけられている（山里 1991）。

サンゴは成長するにつれて大量の硬い石灰質の骨格を形成し、これらはサンゴの死後も塊として海中に残る（西平, Veron 1995）。この大量のサンゴ骨格と、他の石灰質を持つ生物の遺骸が堆積し形成する岩塊状の構造物を「サンゴ礁」と呼ぶ。サンゴ礁は複雑な立体構造を持ち、多様な海洋生物の生息場にもなっており、サンゴ礁生態系の根幹を担っている（西平 1996, 土屋 1996）。また、台風などによって起こる高波浪を沖合で食い止め、海岸線を浸食から守る天然の防波堤としての重要な役割がある。

しかし近年、サンゴはさまざまな要因によって衰退傾向にある。沿岸の開発行為や未処理汚水の流入などといった人為的負荷による影響や、サンゴを捕食するオニヒトデの大発生、サンゴ疾患性の病気（細菌など）といった自然現象と複合的な要因によるものもある（Belkermans *et al.* 2004, Nakano *et al.* 2004）。その中でも、特に大きな要因として、サンゴの白化現象が挙げられる。

白化現象とは、水温の上昇や下降、強い紫外線の照射といった環境ストレスにより、褐虫藻との

共生関係維持が困難になり、サンゴから褐虫藻が抜け出てしまうことである。サンゴ組織はほとんど色素を持たないうえに薄く、褐虫藻が大量に抜け出てしまうと白色の石灰質の骨格が透けて見えることから、白化現象と呼ばれる。白化した時点ではサンゴの組織はまだ生きているが、この状態が1-2ヶ月続くとサンゴはエネルギー供給を断たれ、死亡してしまう (Douglas 2003)。このような白化現象が1997年から1998年にかけて世界規模で起きて甚大な被害をもたらした。また、現在も断続的に発生している。

1.1.2 ペルシャ湾アブダビ海域におけるサンゴの現状

ペルシャ湾とは、イラン、イラク、クウェート、サウジアラビア、バーレーン、アラブ首長国連邦、オマーンに囲まれた細長い形状の湾で、面積は約240,000 km²、長さ約1,000 kmである (Fig. 1-2)。湾の平均水深は50 m、最深部で90 mと非常に浅いことが特徴の一つである。流入する大河は、湾最奥部のイラン・イラク国境を流れるチグリス川・ユーフラテス川のみである。

このペルシャ湾の南東部に位置するアブダビ海域（北緯24-25度）は夏季の水温が35℃に達し、また塩分が40を超える特殊な環境下にある (Fig. 1-2)。ここには約40種のサンゴが分布し、中でもミドリイシ属サンゴの美しい群集が生育していることが知られ、極限環境のサンゴ礁とも呼ばれるほど貴重な存在である。

ペルシャ湾のサンゴは近年の水温上昇による影響で1996年、1998年、2002年と白化現象による大量斃死が引き起こされた (Wilkinson 2000, 2004, 2008)。特に影響を受けたのはミドリイシ属のサンゴで、1996年と1998年の白化で群集の98%が死滅した。ハマサンゴ科やキクメイシ科のような白化に比較的強いと言われる種類のサンゴは、1996年は軽度の白化であったが1998年に60%が白化した。このように、白化に対する影響の大小でペルシャ湾にはサンゴ種の変遷が起きつつある (Riegl 2003)。また、サンゴ群集が白化・死滅した後、Sir Abu Nuairのような沖合の島や、Jebel Ali と Ras Hasyan のような湾の北東岸では回復が早く、2004年には1996年以前の状態にまで回復したと報告されている。

20 世紀初頭までは、真珠養殖が盛んであったが、20 世紀前半に石油が発見され、さらに大量産出地であることが判明してからは油田開発が活発に行われ、湾内は多くの油井が存在するようになった。油田開発に伴う海洋汚染もさることながら、近年急速に都市化が進んでおり、開発による環境負荷も懸念されている（Ashram 2005）。

以上のように、これまでペルシャ湾のサンゴは攪乱を受けてきたという報告は存在するが、そのサンゴの生態や今後の動態予測に関する知見は限定的である（Bauman *et al.* 2011）。



Fig. 1-1 ペルシャ湾と周辺の国々

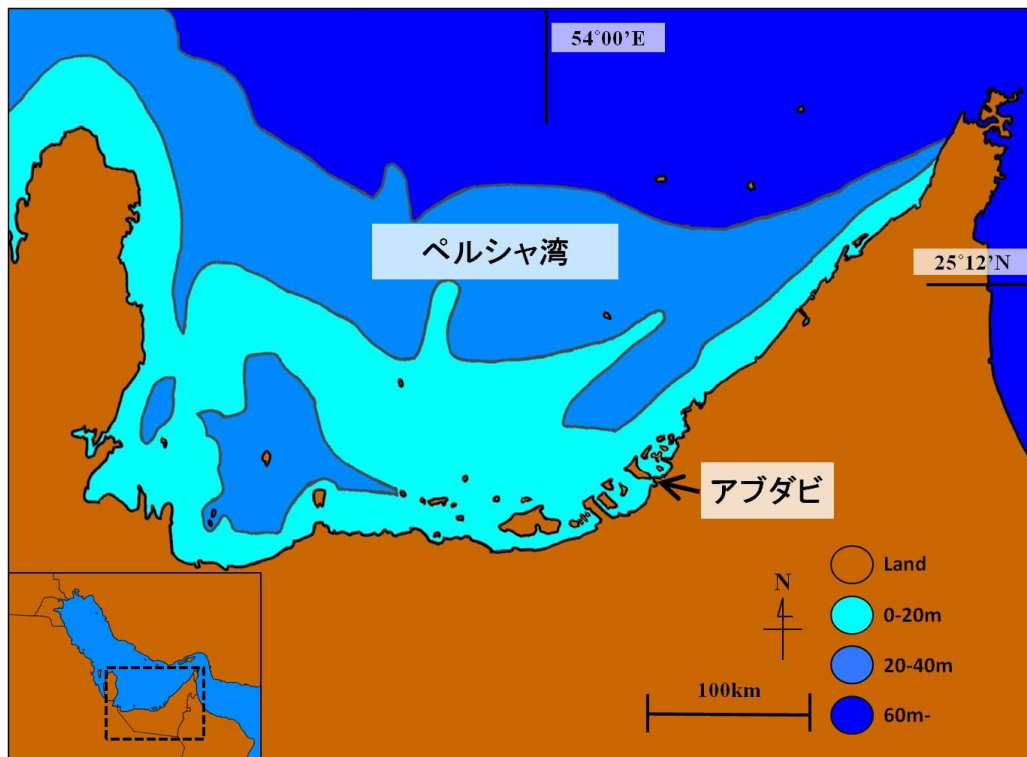


Fig. 1-2 アブダビ周辺海域の様子

1.1.3 サンゴ再生の取り組み

白化などの様々な理由からサンゴは攪乱を受け、衰退傾向にあるサンゴを再生するために世界各国でサンゴの再生方法の研究が行われてきた。日本のサンゴにおいては、1990年代から断片移植の試みが行われてきた(大久保, 大森 2003)。この方法はサンゴの無性生殖を利用したもので、サンゴの分割群体(断片)を岩盤等に固定することで移植を行う。しかし、この方法には既存群体(ドナーサンゴ)を傷つける、クローン群体が増えることによる遺伝的多様性の低下が起こる、といった問題があった。

そこで、ドナーとなるサンゴを傷つけることなく、簡便かつ大量に行える再生技術として、セラミック着床具を用いたサンゴ再生手法を岡本らが開発した(Okamoto *et al.* 2008)。この方法では、一斉産卵で生まれたサンゴ幼生を海底に設置したセラミック製の着床具に着生させ、自然環境下で 10-20 mm 程まで育成する。その後、サンゴが生育した着床具ごと、海底に固定すること

によって再生を行う。

沖縄海域に生息するミドリイシ属サンゴの一斉産卵は、毎年初夏、満月の夜前後に起こる。数十種のサンゴが一斉に卵と精子の塊（バンドル）を放出する。バンドルは海面で弾け、無数の卵と精子となって海面近くを漂い受精する。受精卵は二日ほどで幼生になり、生まれてから約1週間のうちに海底に着生する（古島，岡本 2002）。しかし、大多数の幼生は着生適地を得られないまま流出・死亡する。人工の着生適地として着床具を設置することで、本来は海底に着生出来なかった幼生を移植用種苗として利用できる。

着床具を用いたサンゴ再生は、

- 自然界で生まれた幼生を用いるため、得られる種苗の遺伝的多様性が高い
- 一斉産卵前に着床具を海底に設置するだけで種苗を獲得できる（サンゴ群集の構造に対応した移植用種苗が得られる）
- 着床具は移植時の利便性も考慮されているため、容易で確実な移植が出来る

など、様々な利点があり、2004 年から環境省の自然再生事業でも用いられている（環境省自然環境局 2005）。

1.1.4 人工基盤を用いたサンゴ再生産力評価手法の開発

白化などの攪乱を受けサンゴ群集が死滅した海域の中にも、その後の回復速度には大きな差があり、サンゴ幼生の加入によりサンゴ群集が回復したリーフや、荒廃したままのリーフなど様々である。荒廃したリーフではサンゴ幼生の来遊量の低下や、来遊しても死んだサンゴが瓦礫化しているため着生後に成長出来る安定した基盤が存在しないといった状態が見られる。また、着生基盤があっても富栄養化により岩盤に藻類が繁茂している、堆積物の影響でサンゴ幼生が着生できないといった状況も見られる。

このように、サンゴ群集回復の鍵を握るのはサンゴ自体の再生能力だけではなく、底質や水質などの環境条件も含まれている。早期回復の見込みがある海域では自然の加入に期待することが

できるが、加入が貧弱な海域では、人為的なサンゴ移植を行うなどして群集の回復を促進するしかない。

そこで、着床具を用いたサンゴ幼生の加入（着生から 3-4 ヶ月後）と、マリنبロックにあげた穴に育つ稚サンゴ（着生から 1 年以降）の加入を求め、海域がサンゴの生残に適しているかを評価する手法が開発された（Roeroe *et al.* 2009）。マリنبロックは多孔質素材であり、サンゴが着生しやすい素材である。また、着床具の移植基盤としても用いることができ、着床具とマリنبロックを併用したサンゴ再生技術も開発された（山室 2011 未発表）。

1.2 研究の意義

上記のように、世界各地のサンゴが衰退傾向にあるが、本研究ではその中でもサンゴの現状や今後の動態については不明確である、ペルシャ湾アブダビ海域のサンゴに焦点を当てることにした。今後世界の海水温の上昇を考えると、ペルシャ湾におけるサンゴの動態を明らかにすることは将来のサンゴ礁存続の可能性を知る上で重要である。荒廃が進む日本のサンゴ礁でもサンゴが単に死滅してしまうのか、それともアブダビ海域のように 35℃ の高水温でも生残出来るのか、興味はつきない。

1.3 本研究の目的

このような背景のもと、本研究では着床具とマリنبロックを用いてペルシャ湾アブダビ海域においてサンゴ再生産力の評価を行うことを目的とした。その上で、同海域のサンゴの現状把握と動態予測を行う。具体的には、以下の 3 項目を調べることで評価を行う。

(1) サンゴの現況調査

これまでペルシャ湾のアブダビ周辺海域においてサンゴ礁に関する調査や報告が少ないため、本研究を行うにあたりサンゴ群集の基礎情報を集めるところから始めた。調査項目は現存するサ

ンゴの被度，生息するサンゴ種，稚サンゴ生育量とその種類である。

(2) サンゴ幼生の加入量

人工基盤を用いて着生から 3-4 ヶ月段階の肉眼では確認できないサンゴ幼生の加入量を調べることで，周辺のサンゴ群集の産卵能力と一斉産卵時期を明らかにする。ほとんどのサンゴ礁では一斉産卵する種が最も多く生育しており，幼生供給に大きく貢献しているため，一斉産卵のタイミングを知ることは重要である。アブダビ周辺海域では一斉産卵時期が不明確であり，並行して調べることにした。

(3) 稚サンゴの加入量，成長・生残

人工基盤を用いて着生から 1 年以降の稚サンゴの加入量や生残・成長を明らかにする。海域に生育する稚サンゴ量と比較し，サンゴの着生適地の有無や生育環境について知見を得ることが出来る。

第Ⅱ章 方法

2.1 予備調査（評価海域の選定）

サンゴの再生産力評価を行うために、まずアブダビ周辺海域のサンゴの概況について知る必要がある。また、サンゴ再生能力評価を行うためには、健全なサンゴ群集が生育している海域が望ましい。そのため、2009年6月15-17日に5ヶ所の海域でスクーバを用いて調査を行い、評価海域を選定することにした（Fig. 2-1）。

調査項目はサンゴ被度、生育するサンゴの種類、直径20 mm以下の稚サンゴの種類と数である。サンゴ被度は、長さ5 mのテープメジャーを典型的な3ヶ所の海底に張って上方からモザイク写真の撮影（合計15 m）を行い、算出した。生育サンゴ種の把握は、各種サンゴの識別を行うための写真（群体全体とクローズアップ写真）を撮影し、同定した。稚サンゴの探索は30分間行い、写真撮影を行って、数・種類を調べた。

この調査を基に、比較的良好なサンゴ群集が生育するAl DhabiaとSaadiyatの2海域でサンゴ再生産力評価を行うこととした。

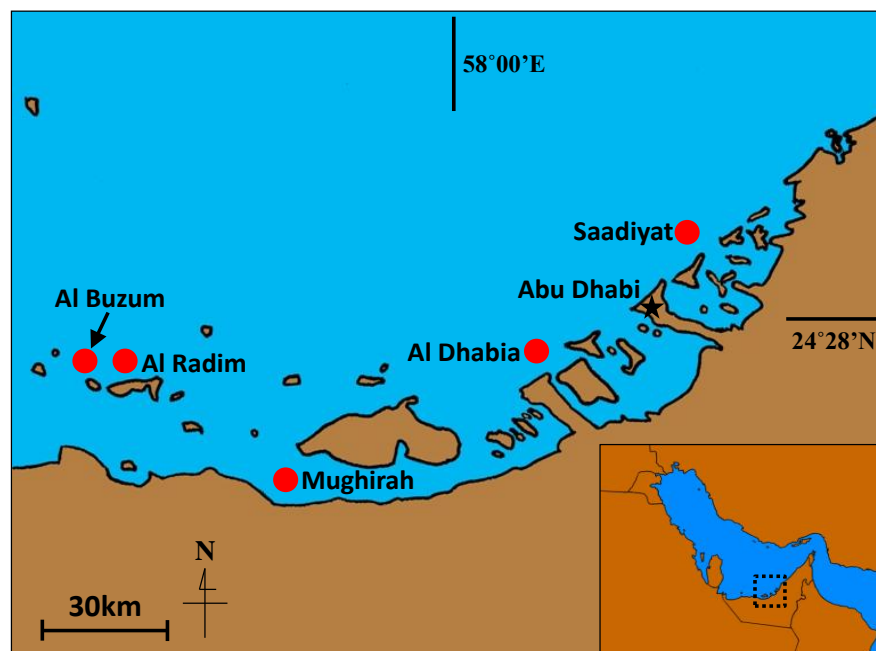


Fig. 2-1 実験海域

2.2 サンゴ再生産力の評価

2009年6月に行った予備調査を基に海域選定を行い, Al Dhabia と Saadiyat の2海域でサンゴ再生産力の評価を行うこととした。本研究で行うサンゴの再生産力評価のコンセプトについて Fig. 2-2 に示す。大きく3つの項目があり, サンゴの現況, 一斉産卵から3ヶ月後のサンゴ幼生加入量, 着生から1年以降の稚サンゴの生残を調べる。これらの項目の良し悪しから, その海域のサンゴについて保全, 生育環境の改善, または再生が必要なのかを判断する。

各評価項目の内容とは, 具体的には Table 2-1 の様な事柄である。各評価項目の方法について, 詳しく述べていく。

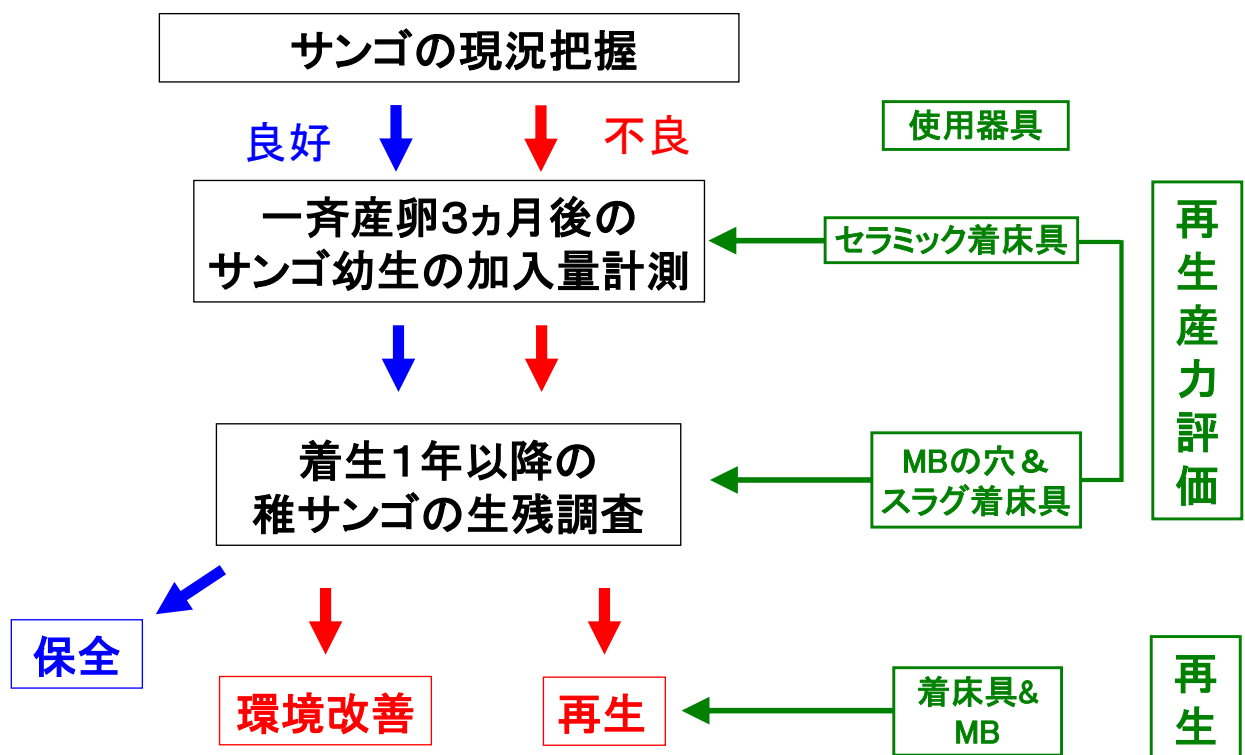


Fig. 2-2 評価の流れ

Table 2-1 評価項目と明らかになること

評価項目	明らかになること	実験器具
①サンゴの現況把握	サンゴ被度 生息するサンゴの種数 海域の稚サンゴ量	
②サンゴ幼生の加入量	周辺サンゴ群集の産卵能力 一斉産卵のタイミング	セラミック着床具
③稚サンゴ生残数	稚サンゴの成長・生残 海域のサンゴ生育環境 着生適地の有無	プレート型マリブブロック & スラグセラミック着床具

2.2.1 サンゴの現況把握

これまでペルシャ湾アブダビ周辺海域においてサンゴ礁に関する報告や調査が少なく、本研究を行うにあたり、サンゴ群集の基礎情報を集めるところから始めた。各海域においてサンゴ被度、生息するサンゴの種類、稚サンゴ種類と数を調べた。各調査を行った日程を Table 2-2 に示す。

Table 2-2 現況把握の項目と調査日程

調査項目	2009 年 6 月	2010 年 10 月	2011 年 10 月
サンゴ被度	○	—	○
生息サンゴの種類数	○	—	○
稚サンゴの種類と数	○*	○**	○**

*：調査時間 30 分，**：調査時間 60 分

(1) サンゴ被度

まず、調査範囲内に複数本のテープメジャーを海底に張り、それに沿って上方からモザイク写真の撮影を行った (Fig. 2-3)。ラインはなるべく典型的な海底にかかるようにした。その後、写真の周囲に生育するサンゴ、底質について記録し被度を算出した。サンゴはミドリイシ属、ハナヤサイサンゴ科、ハマサンゴ科、キクメイシ科、その他の種類に分類し、底質は死サンゴ・岩、砂地、瓦礫に分けた。尚、ペルシャ湾にはミドリイシ科はミドリイシ属の1属のみ生息しているため、分類ではミドリイシ属とした。

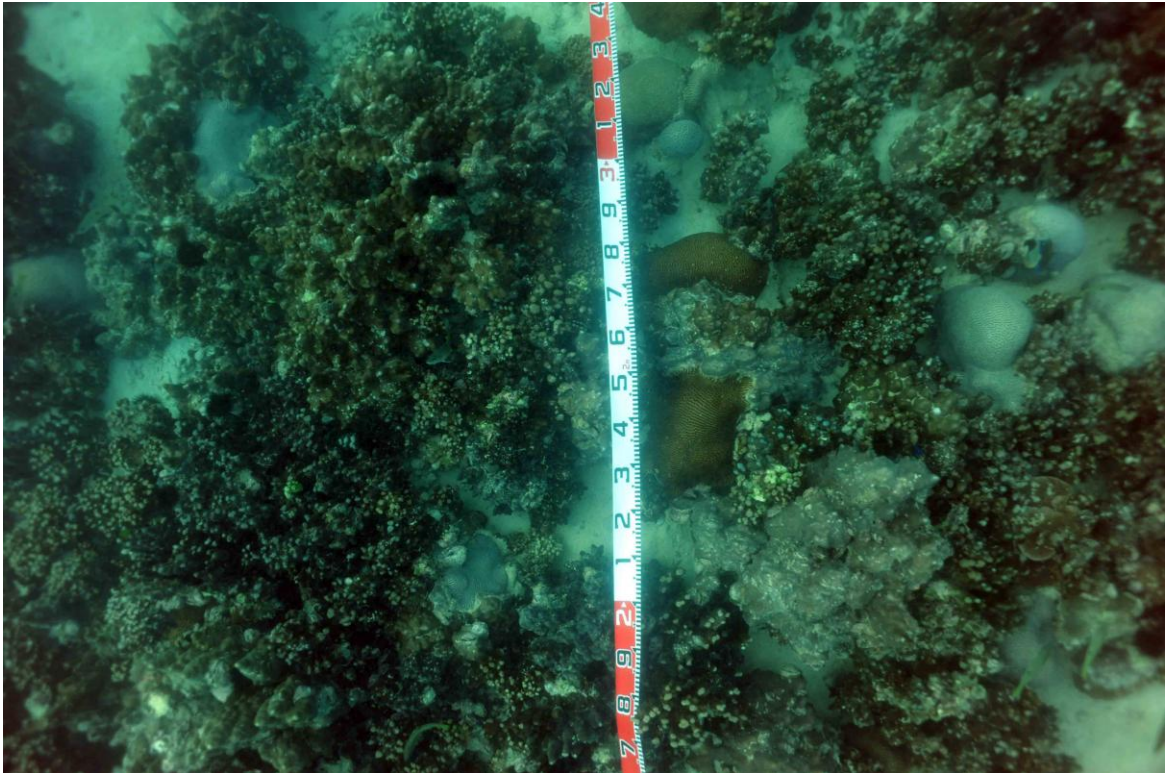


Fig. 2-3 海底にテープメジャーを張った様子

(2) 生育サンゴの種類数

生育しているサンゴの種類を把握するため、サンゴ群体を種ごとに群体全体とクローズアップの写真撮影を行い (Fig. 2-4), 同定した。ペルシャ湾に生息するサンゴの種類については、アブダビ環境庁の情報や、Riegl B (1999), Riegl B (2003) を参考にした。



Fig. 2-4 サンゴのクローズアップ写真

(3) 稚サンゴの種類・数

自然界のリーフにおける幼生の着生や稚サンゴの成長の実態を知るために、稚サンゴの分布調査を行った。稚サンゴは着生から1年以内と考えられる直径20 mm以下のものを対象とした。2009年6月は30分、2010年10月と2011年10月は60分の潜水調査を行い、稚サンゴの探索と撮影を行った。カメラはNikon D60, 60mm f2.8 in housing with TTL strobe (Sea & Sea YS110 α)を用いた。分類は写真から判別し、ミドリイシ属 *Acropora*, ハナヤサイサンゴ科 Pocilloporidae, ハマサンゴ科 Poritidae, キクメイシ科 Faviidae, キサンゴ科 Dendrophyllidae, ヤスリサンゴ科 Siderastreae の6つのグループに分けた。

2.2.2 サンゴ幼生の加入量計測

サンゴ幼生の加入量計測は、セラミック着床具を用いて 2010 年と 2011 年の 2 回調べた。幼生加入量を調べることで、周辺サンゴ群集の産卵能力を知ることが出来る。また、2010 年には着床具の設置時期を分けることで、一斉産卵のタイミングを把握する試みも行った。

一斉産卵のタイミングは海域によって違い、このタイミングに合わせて着床具を設置することで効率的に幼生を着生させることが可能となる。そのため、一斉産卵のタイミングを調べることに大きな意味がある。アブダビ周辺海域では一斉産卵の時期が不明確であり、地元の漁師の方々の話を参考に、着床具の設置時期を選定した。

2.2.3 稚サンゴの生残調査

この項目では、スラグセラミック着床具とプレート型マリブブロックを用いて、その海域に生息する稚サンゴが着生から 1 年以降まで育つ環境か否かを知る。

稚サンゴは環境ストレスに弱く、捕食者がいたり、堆積物に埋もれたりするとすぐ悪影響を受け死亡してしまう可能性が高くなるため、着生後の生育環境も把握する必要がある。また、海域に生育する稚サンゴ量と比較することで、サンゴの着生適地の有無を知ることが出来る。本研究では、2010 年に設置した器具を 2011 年に回収し、生残している稚サンゴを計数することで評価を行った。

2.3 評価器具

(1) 着床具

着床具は2006年型のセラミック着床具とスラグセラミック着床具を用いた (Fig. 2-5)。この着床具はサンゴ再生のため、移植用サンゴを効率的に獲得することを目的として、東京海洋大学岡本教授らによって開発された器具である (Okamoto *et al.* 2008)。

セラミック着床具は、金型プレスによって陶土を成型し、1,250°Cで酸化焼成したものである (岡本, 野島 2003)。スラグセラミック着床具は、セラミック着床具と同じ金型で鉄鋼スラグ等を成型して焼成したものである (Okamoto *et al.* 2008)。セラミック着床具と比較して高強度・多孔質であるという特徴をもつ。いずれの材質も溶出物はなく、環境や生物に悪影響を与えるおそれがない。また、サンゴ幼生の着生に前処理等を必要としない。

着床具は上面、下面、側面、スペーサー部、連結孔、連結挿入部の6部位から構成され、下面には複数の溝を配置して、着生面積を増やす工夫がされている (Fig. 2-6)。連結挿入部を上面の連結孔に挿入することで、複数の着床具を上下に重ねることが出来る。その際スペーサー部は、重ねた着床具に一定の隙間を確保する役割をもつ。また、側面に設けられた4本の溝は、重ねた着床具を樹脂棒で束ねる際に用いる。

セラミック製着床具は直径40 mm、高さ25 mm、下面溝部の奥行きはおよそ12 mmである。12個を重ねて1束とし、さらに10束を専用の樹脂ケースに装填した合計120個を1ケースとする (Fig. 2-7)。またスラグセラミック製着床具は直径43 mm、高さ29 mm、下面溝部の奥行きはおよそ12.5 mmである。10個を重ねて1束とし、10束を1ケースとする (合計100個)。これらのケースをステンレス架台に最大で6個まで固定し、海底に設置する。

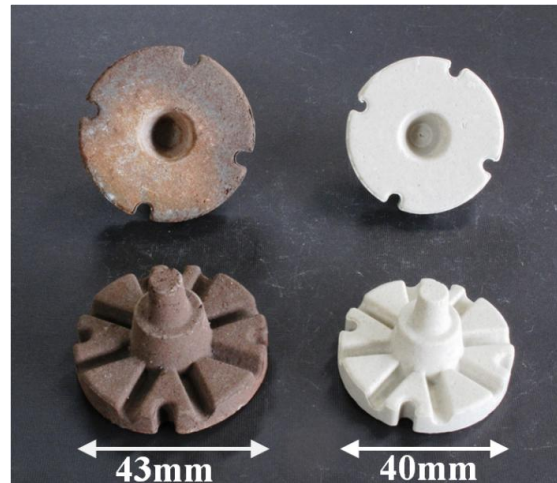


Fig. 2-5 左：スラグセラミック着床具 右：セラミック着床具

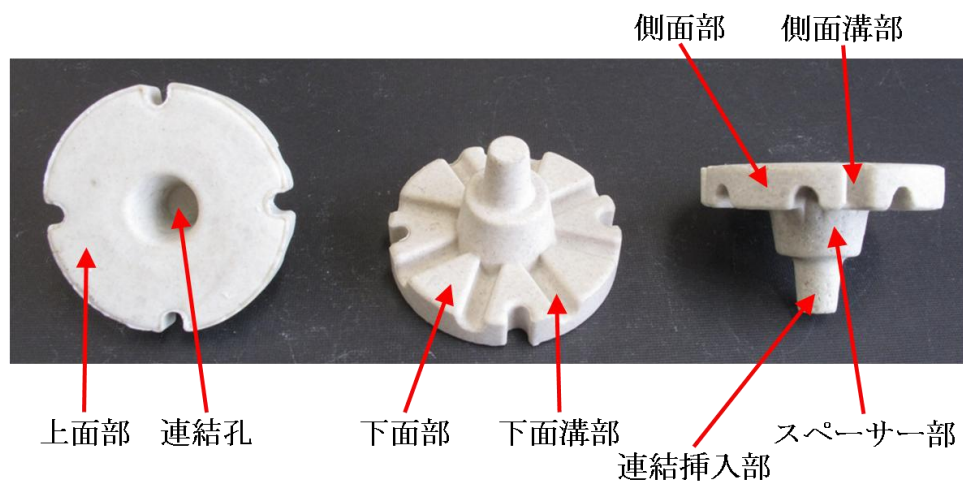


Fig. 2-6 着床具の部位 (2006 年型)

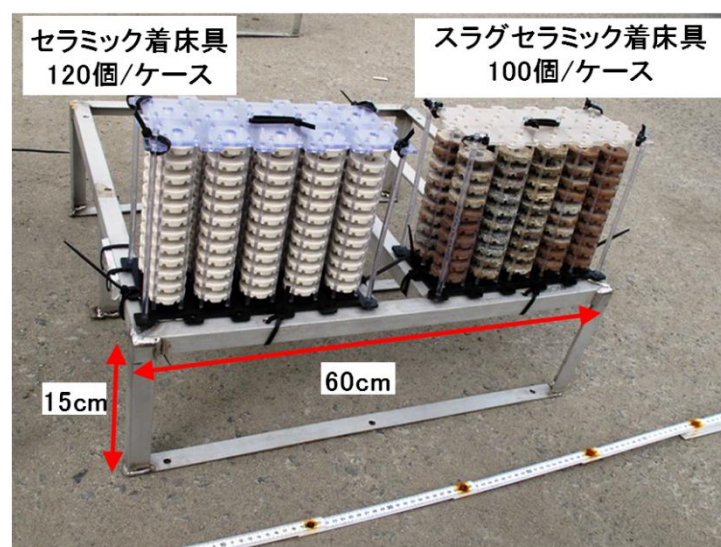


Fig. 2-7 架台に固定した着床具ケース

(2) マリンブロック

稚サンゴの生残調査では、プレート型マリンブロック（250×250mm，厚さ 40mm）を使用した。マリンブロックは鋼鉄スラグを細かく砕き，炭酸固化（CO₂ を吹き込んでスラグに含まれる CaO を CaCO₃ に変化させる）させた多孔質の素材である。設置するプレート型マリンブロックは，両面に直径 10mm の穴が 100 個ずつ施されている（Fig. 2-8）。穴の深さは先行研究の知見（Roeroe *et al.* 2009）を参考にし，サンゴ幼生が着生するのに十分な 15 mm とした。マリンブロックの材質はサンゴ礁と同じ炭酸カルシウムで，コンクリートのようなアルカリ成分の溶出はなく，生物親和性が高いため，藻類やサンゴの着生基盤としても使われる。砂や瓦礫の多い海域など，サンゴ幼生の着生が難しい海域では着生基盤として利用することも出来る。

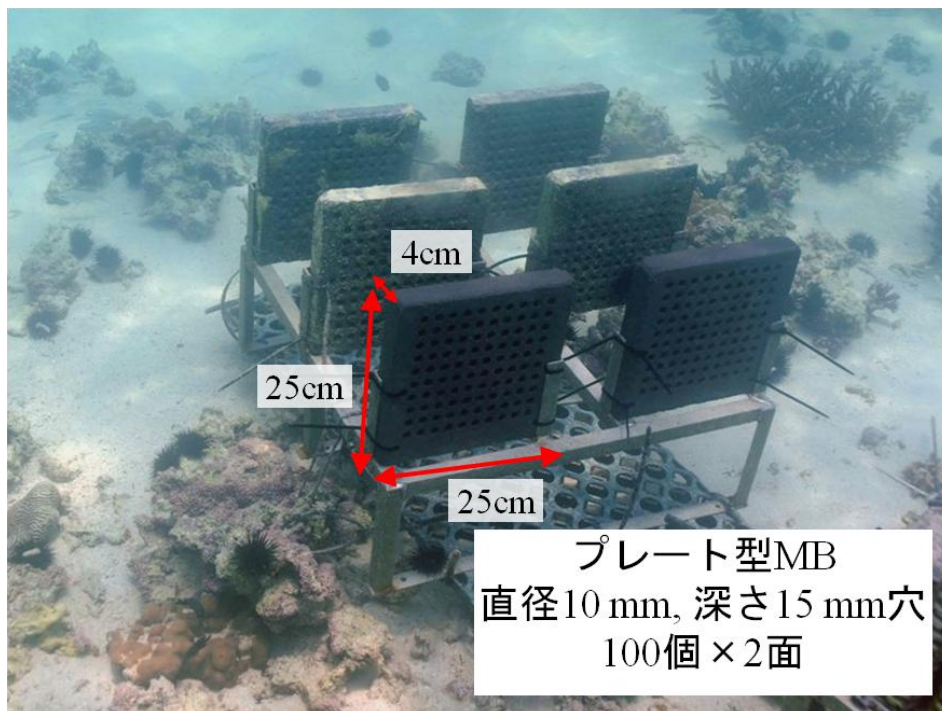


Fig. 2-8 プレート型マリンブロック

2.4 実験器具の設置と回収

2.4.1 架台の設置

Al Dhabia (24°21.811'N, 54°06.186'E) と Saadiyat (24°35.474'N, 54°25.293'E) の 2 海域に着床具用架台を各 2 基, プレート型マリネブロック用架台を各 2 基設置した。

Al Dhabia は砂質の海底で, 死んだサンゴの骨格も脆いため, 架台と海底をしっかりと固定するのが難しい。そのため, まずプラスチックプレート (Fig. 2-9) の上から L 型鉄筋 (長さ 1.0 m) を打ち込み固定した。プラスチックプレートの上に架台を載せ, プレートと架台を結束バンドで固定した (Fig. 2-10)。

Saadiyat の海底は砂が被覆しているが, その下は硬化した炭酸カルシウムで覆われた岩盤であり, 釘を打つことも出来なかった。しかし, 表面は生物によって空けられた孔が多くあったため, 孔と架台を結束バンドで結んで固定した (Fig. 2-11)。

また, 2 海域の各 4 架台のうち 2 架台に水温計を設け, 1 日 6 回 (4 時間毎) の計測を行った。水温計は CT&C 社製の iBTag (2010 年 3 月-2011 年 3 月), クリマテック社製の hobo (2011 年 3 月-10 月) を用いた。

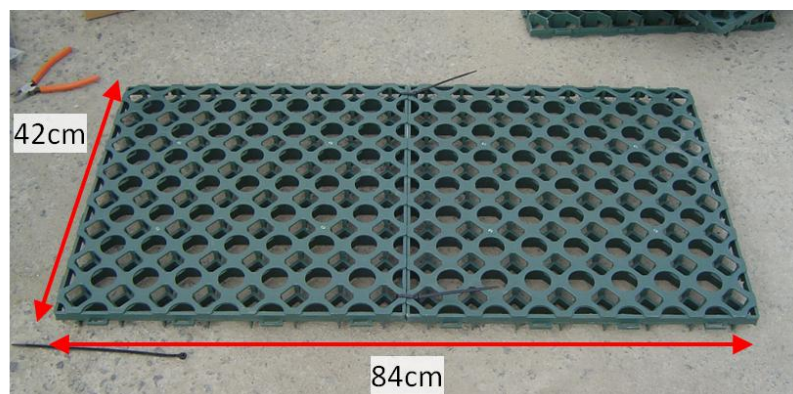


Fig. 2-9 プラスチックプレート



Fig. 2-10 Al Dhabia に設置した着床具架台



Fig. 2-11 Saadiyat に設置した着床具架台

2.4.2 実験器具の設置と回収スケジュール

(1) セラミック着床具

幼生加入量の把握と一斉産卵時期の特定を行うため、2010 年は 3 月、4 月、5 月の 3 回に分けて Al Dhabia と Saadiyat の 2 海域に各 720 個（6 ケース）を設置した。同緯度の石西礁湖で概ね 5 月の満月の夜前後に一斉産卵が起こること、またアブダビの漁業関係者間でも産卵は 4 月から 5 月と推測されていたため、この時期を外さないよう 3 回に分けて設置する方法とした。3 月に設置した着床具は 5 月、4 月と 5 月に設置したものは 10 月に回収を行った。

2011 年のセラミック着床具設置は、2010 年の着生結果を参考に 2011 年 4 月の満月（4 月 18 日）より前である 3 月 30、31 日に行った。2 海域に各 720 個（6 ケース）を設置し、10 月に全て回収した。

設置と回収の日程を以下の Table 2-3 に記す。

Table 2-3 各海域へのセラミック着床具の設置・回収について

設置日	各月の満月	回収日	着床具数	評価項目
10 年 3 月 30-31 日	10 年 3 月 30 日	10 年 5 月 18-19 日	240	幼生加入量& 一斉産卵時期の特定
10 年 4 月 22 日	10 年 4 月 28 日	10 年 10 月 6-7 日	240	
10 年 5 月 18-19 日	10 年 5 月 28 日	10 年 10 月 6-7 日	240	
11 年 3 月 30-31 日	11 年 4 月 18 日	11 年 10 月 10-11 日	720	幼生加入量

(2) スラグセラミック着床具

スラグセラミック着床具は、着生から1年以降の稚サンゴの生残調査を行う。2010年の3月、4月、5月の3回に分けて Al Dhabia と Saadiyat の2海域に各600個（6ケース）を設置した。設置から約1年半後の2011年10月に全て回収し、陸上にて生育しているサンゴの計測を行った。Table2-4 に設置と回収の詳細な日程を記す。

Table 2-4 各海域へのスラグセラミック着床具の設置・回収について

設置日	回収日	着床具数	評価項目
10年3月30-31日		200	
10年4月22日	11年10月10-11日	200	着生1年以降の稚サンゴの生残
10年5月18-19日		200	

(3) プレート型マリنبロック

着生から1年以降の稚サンゴの生残調査を行うため、プレート型マリنبロックを用いた。2010年3月、4月、5月の3回に分けて Al Dhabia と Saadiyat の2海域に12枚ずつ設置した。設置から約1年半後の2011年10月に全て回収し、陸上にてマリنبロック上に生育するサンゴを計測した。

設置と回収の詳細な日程を Table 2-5 に記す。

Table 2-5 各海域へのマリنبロックの設置・回収について

設置日	回収日	設置枚数	評価項目
10年3月30-31日		4	
10年4月22日	11年10月10-11日	4	稚サンゴの生残数
10年5月18-19日		4	

2.5 解析方法

(1) セラミック着床具の解析

回収したセラミック着床具は乾燥して実験室に持ち帰り、顕微鏡を用いて着生したサンゴの種類、着生数、着生部位、寸法を計測した。着床具はケース単位で回収し、まず着床具ケースを解体し、上から見て時計回りに1から10まで着床具束へ番号を付けた。次に着床具束を解体し、最下段を1、最上段を12としてナンバリングを行った。計測は実体顕微鏡（OLYMPUS SZ61, OLYMPUS SZX7）を用いて行った。寸法の計測は、マイクロメータまたはノギスを用いて最大直径を計測した。計測したサンゴはデジタルマイクロスコープ（VH-5500, ズームレンズ LH-ZOOR）または実体顕微鏡（OLYMPUS SZX7, OLYMPUS 社製デジタルカメラ CAMEDIA C-5060）で写真を撮影した。着生した稚サンゴの同定形質を骨格とし、その特徴からハナヤサイサンゴ科、ミドリイシ属、ハマサンゴ科、キクメイシ科、その他の種類、同定不能の6つのグループに分類した。以下に各グループの特徴を記す。

i) ハナヤサイサンゴ科 Family Pocilloporidae

骨格中央に莢と呼ばれる穴状構造をもち、隔壁が6の倍数枚見られる。莢の内部中央に軸柱と呼ばれる柱状構造を有し、共骨が密であることが特徴である（Fig.2-11）。

ii) ミドリイシ属 Genus *Acropora*

ハナヤサイサンゴ科と同様に骨格中央に莢をもち、隔壁が6の倍数枚見られる。また、ポリプ間を埋めている共骨は多孔質である（Fig.2-12）。

iii) ハマサンゴ科 Family Poritidae

他のサンゴと同様、骨格中央に莢をもち、莢壁、隔壁ともに多孔質である。軸柱や隔壁の内縁に杭をもち、隔壁側面から棘状突起が存在することも特徴である (Fig.2-13)。

iv) キクメイシ科 Family Faviidae

隔壁や杭状葉、軸柱や莢壁をもつ。隔壁の構造は単純で、軸柱は隔壁の鋸歯が伸長して絡み合ったものである (Fig.2-14)。



Fig. 2-11 ハナヤサイサンゴ科

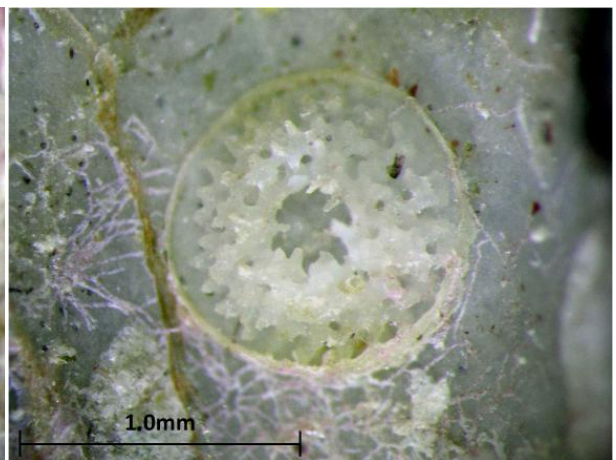


Fig. 2-12 ミドリイシ属

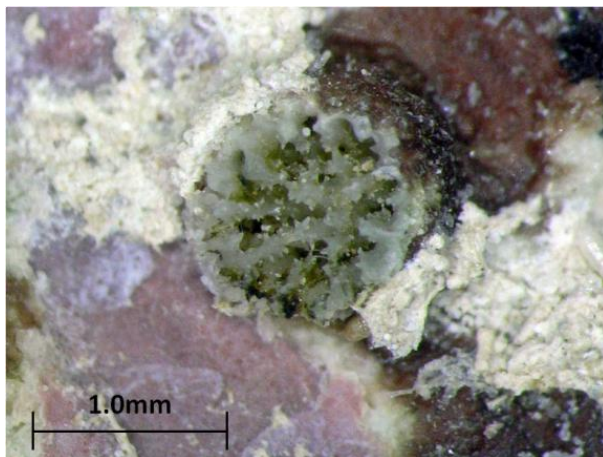


Fig. 2-13 ハマサンゴ科

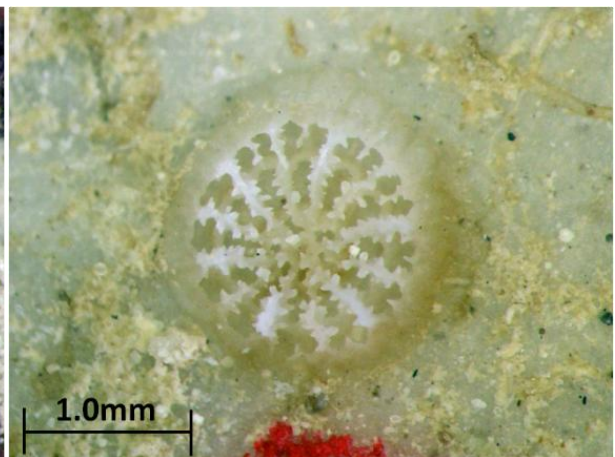


Fig. 2-14 キクメイシ科

(2) スラグセラミック着床具とマリンプロックの解析

スラグセラミック着床具とプレート型マリンプロックは着生から1年以降の稚サンゴの生残を調べるため、計測対象は直径10 mm以上のサンゴとした。これは、人工基盤に着生したサンゴが着生から13ヶ月後に直径12 mm未満であること（Okamoto 2010）を参考にしたためである。

また、稚サンゴは着生してから1年ほど経過すると、穴の表面に出てくるまでに成長し、目視が可能となる（Fig.2-15）。ここでは、生残している稚サンゴ（直径10 mm以上）のみを計測するため、実体顕微鏡ではなくルーペもしくは目視にて探索を行った。計測項目は、サンゴの着生数、種類、寸法である。種類の分類はセラミック着床具と同様である。

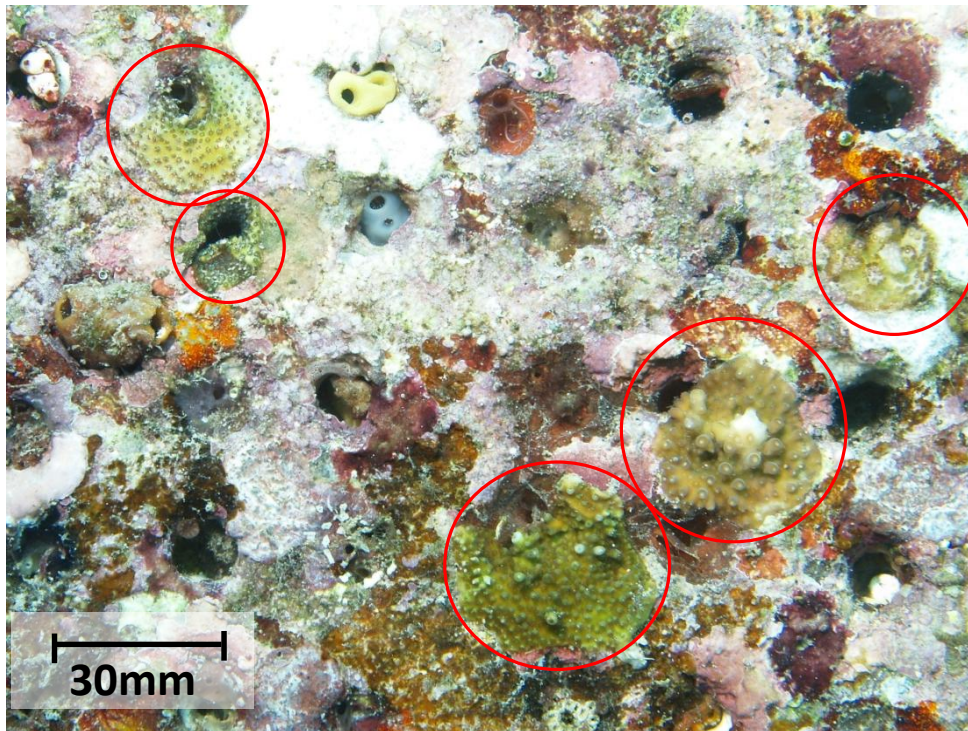


Fig.2-15 MB にあけた穴から成長するサンゴ例（マナド設置）

第Ⅲ章 結果

3.1 予備調査による海域選定結果

サンゴ再生産力の評価を行うため、2009年6月にアブダビ周辺でサンゴが生育するとされる5海域で予備調査を行った。調査項目はサンゴ被度、生息サンゴの種類、直径20mm以下の稚サンゴの種類と数であった。

アブダビ海域の概況調査を行った結果、Table 3-1の通りとなった。Al Buzum と Al Radim はサンゴが衰退していた。Mughirah は昔のサンゴ礁であり、現在は海草藻場になっていた。比較的良好なサンゴ群集が生育していた Al Dhabia と Saadiyat でサンゴ再生産力評価を行うこととした。

調査結果について、海域ごとに以下に詳しく記す。

Table 3-1 予備調査の項目と結果

海域	Al Buzum	Al Radim	Mughirah	Al Dhabia	Saadiyat
サンゴ被度 (%)	-5	-5	-5	20	83
サンゴ種数	0	9	6	18	16
稚サンゴ量 (群体数)	1	0	0	15	0

(1) Al Buzum (24°23.165'N, 53°04.712'E)

首都アブダビから西約 130 km に位置する。かつては直径 1 m 以上のハマサンゴ科やキクメイシ科のサンゴが分布し、密にサンゴが生育していたと推察された (Fig.3-1)。しかし調査時点ではそれらの多くは死滅し、脆いサンゴ質の岩盤となっていた。その表面はウミウチワ類、シマオオギ類、サンゴモ類、芝状藻類などで覆われていた。本海域に生息していたサンゴの種数はハマサンゴ科 3 種、オオトゲサンゴ科 1 種、キクメイシ科 2 種の合計 6 種であった。サンゴ被度は 5% 以下であり、生きたサンゴであっても健全な群体はほとんど存在せず、群体の一部がかろうじて生き残っているような状態であった (Fig.3-2)。また、稚サンゴはキクメイシ科の 1 群体だけであった。

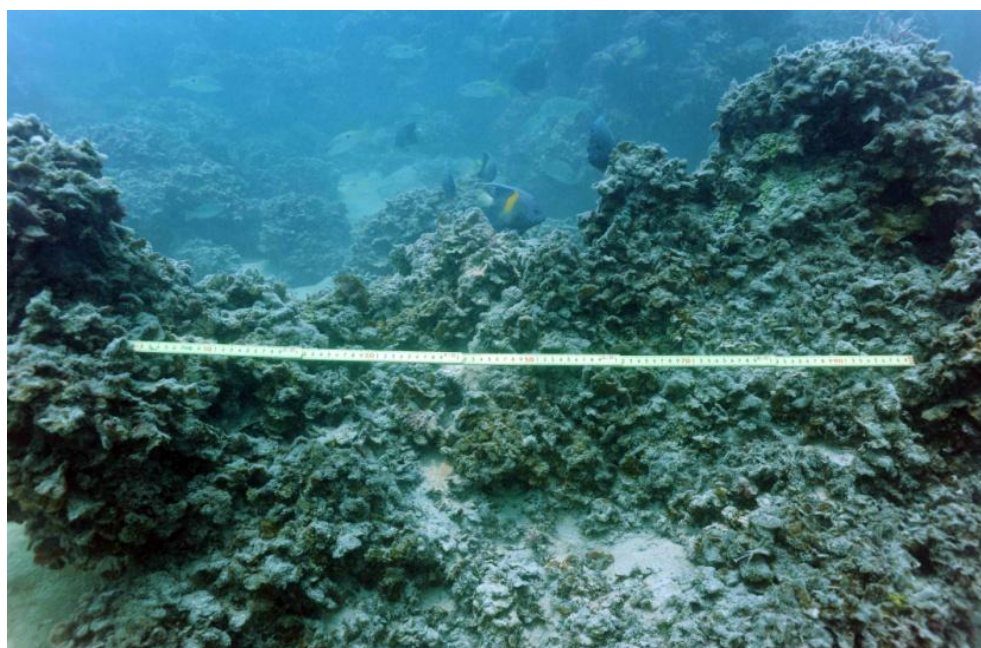


Fig.3-1 Al Buzum 水中景観

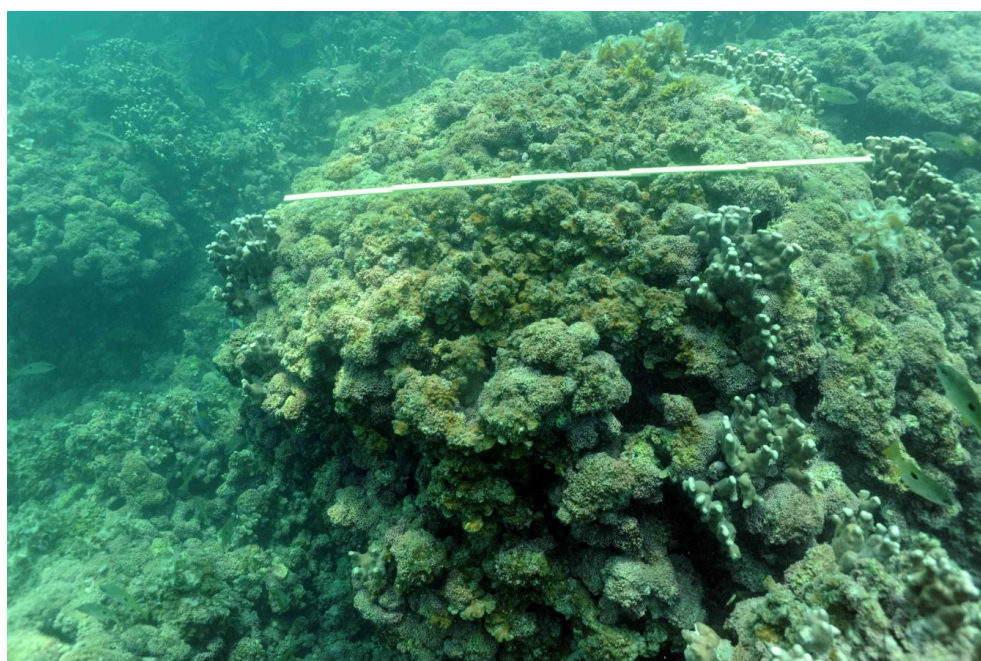


Fig.3-2 群体の一部が生残しているハマサンゴ (バーは1 m)

(2) Al Radim (24°24.702'N, 53°10.792'E)

首都アブダビから西に約 120 km に位置する。Al Buzum と比較するとサンゴはやや良好な状態であった。主に死んだサンゴから成る岩盤が底質であるが (Fig.3-3), ハマサンゴ科やキクメイシ科の全体が健全な群体が散見された (Fig.3-4)。確認できたサンゴはハマサンゴ科 2 種, オオトゲサンゴ科 1 種, キクメイシ科 6 種の合計 9 種類であった。しかしサンゴ被度は 5%以下であり, 死んだサンゴ由来の脆い岩盤や死んだサンゴの表面は Al Buzum と同様に藻類や石灰藻のサンゴモで広く覆われていた (Fig.3-5)。稚サンゴは確認できなかった。



Fig.3-3 Al Radim の概観

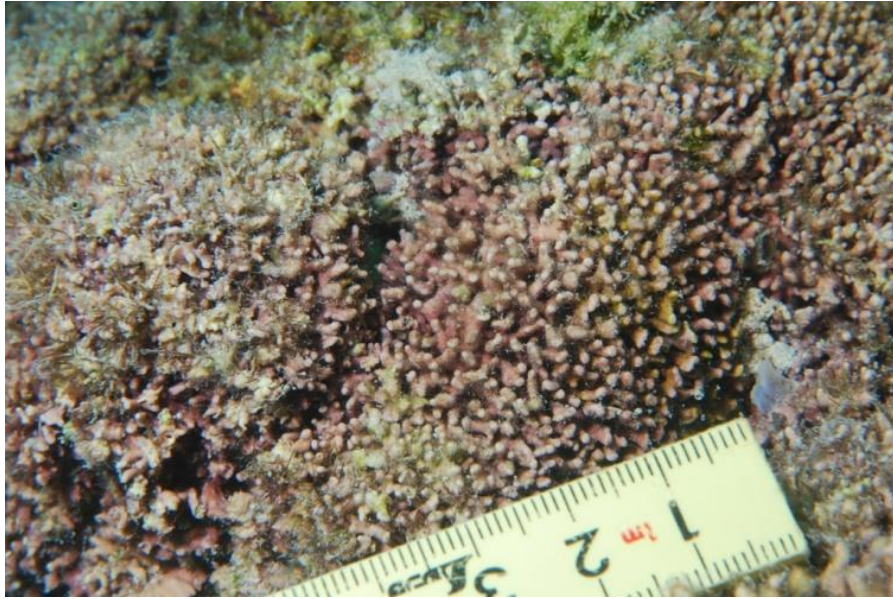


Fig.3-4 リーフを被覆するサンゴモ

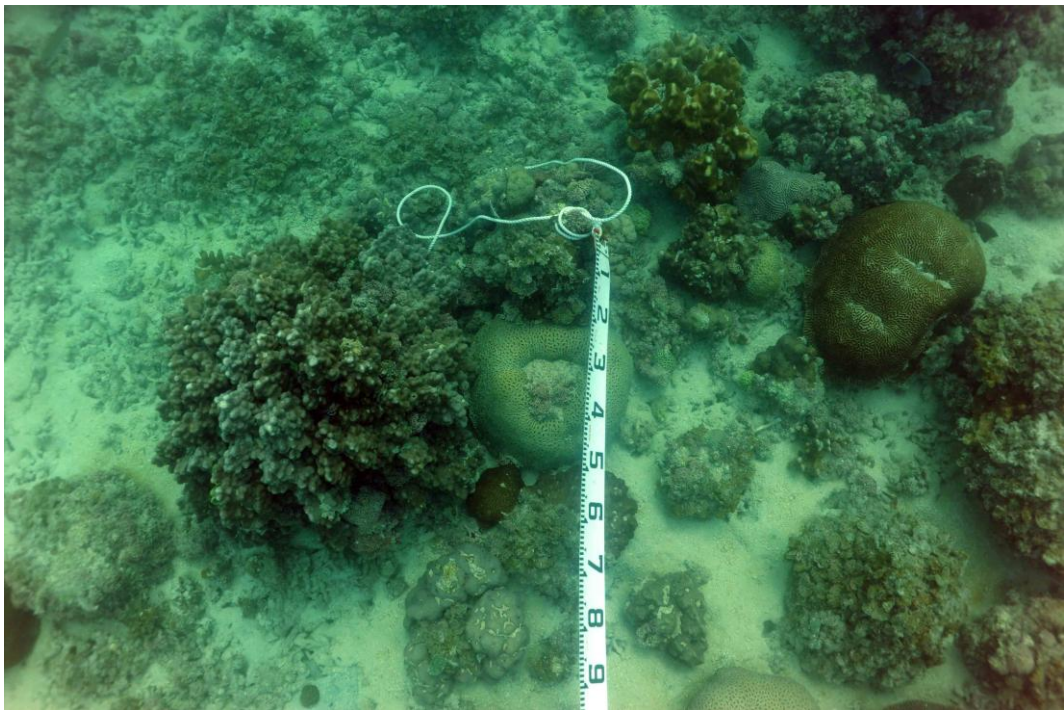


図 3-5 生育しているハマサンゴやキクメイシ

(3) Mughirah (24°04.253'N, 53°34.831'E)

首都アブダビから西方に約 90 km に位置する。岸と Abyadh 島の間に位置し、開放的とは言えない海洋環境である。もともとサンゴが生育していた海域ではないが、水路を掘削したことから、掘削面の岩盤にサンゴが生育している可能性があると考えて調査を行った (Fig. 3-6)。掘削部の斜面には死んだサンゴが露出している場所があったが、表面は細かい砂や懸濁物で覆われていた。また、掘削していない海底には海草 (Sea glass) が繁茂していた (Fig. 3-7)。



Fig. 3-6 Mughirah の概観（水路沿い）



Fig. 3-7 海底に繁茂する水草

(4) Al Dhabia (24°21.799'N, 54°06.136'E)

首都アブダビから西方に約 30 km に位置するリーフである。水深約 5m で、砂地とサンゴ質の脆いリーフが混在している。所々にハマサンゴ科、キクメイシ科、ハナヤサイサンゴ科、少量のミドリイシ属のサンゴが点在していた (Fig. 3-8)。リーフ表面は石灰藻のサンゴモなどが被覆しているが、表面は藻類などで覆われていることはなく、サンゴ幼生が着生するには良い環境であると考えられた (Fig. 3-9)。確認できたサンゴはハナヤサイサンゴ科 1 種、ミドリイシ属 2 種、ハマサンゴ科 2 種、キクメイシ科 11 種、キササンゴ科 18 種と多くのサンゴが生育していた。稚サンゴはハナヤサイサンゴ科 5 群体、ハマサンゴ科 4 群体、キクメイシ科 3 群体、キササンゴ科 2 群体を確認できた (Fig. 3-10)。



Fig. 3-8 Al Dhabia の水中景観



Fig. 3-9 リーフ表面の様子

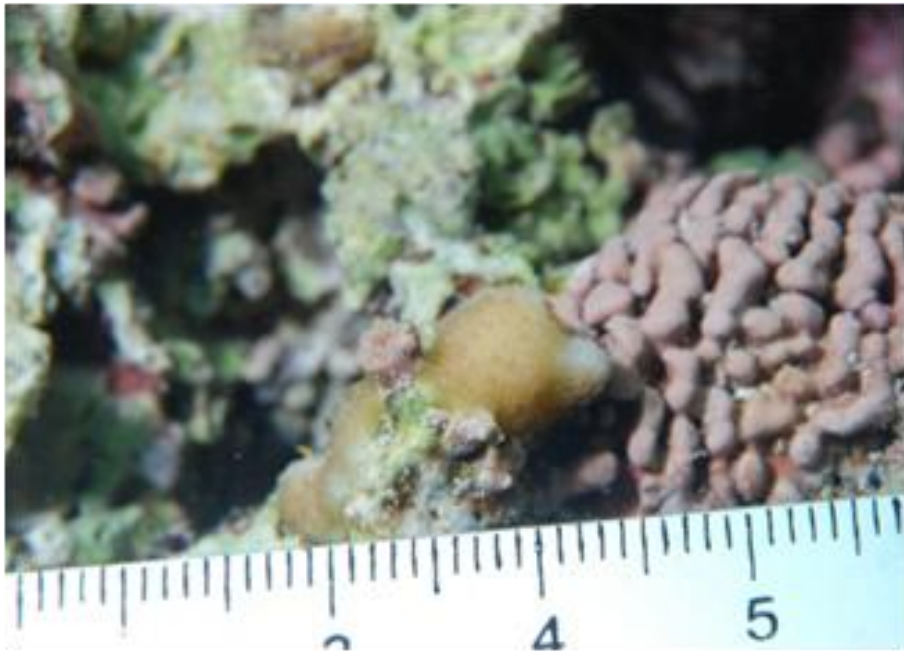


Fig. 3-10 ハナヤサイサンゴ科の稚サンゴ

(5) Saadiyat (24°35.937'N, 54°25.287'E)

首都アブダビから東方約 16 km に位置するリーフである。水深約 7 m, リーフの上に砂の堆積が確認された。ハマサンゴ科, キクメイシ科 (Fig. 3-11), 少量のミドリイシ属 (Fig. 3-13) などのサンゴが密に生育しており, サンゴ被度は 83% であった (Fig. 3-13)。確認できたサンゴはミドリイシ属 1 種, ハマサンゴ科 3 種, ヤスリサンゴ科 2 種, オオトゲサンゴ科 1 種, キクメイシ科 8 種の合計 16 種であった。岩盤の様子は他の海域と全く異なり, 死んだサンゴから形成される脆い岩盤ではなく, 硬化した炭酸カルシウムで覆われていた。サンゴが生育していない場所は, その硬い岩盤の上に砂が薄く堆積していた。稚サンゴは確認できなかったが, サンゴが死んだ部分の面積が少ないためと考えられた。



Fig. 3-11 Saadiyat の水中景観



Fig. 3-12 点在していた成体ミドリイシ属 (バーは1 m)

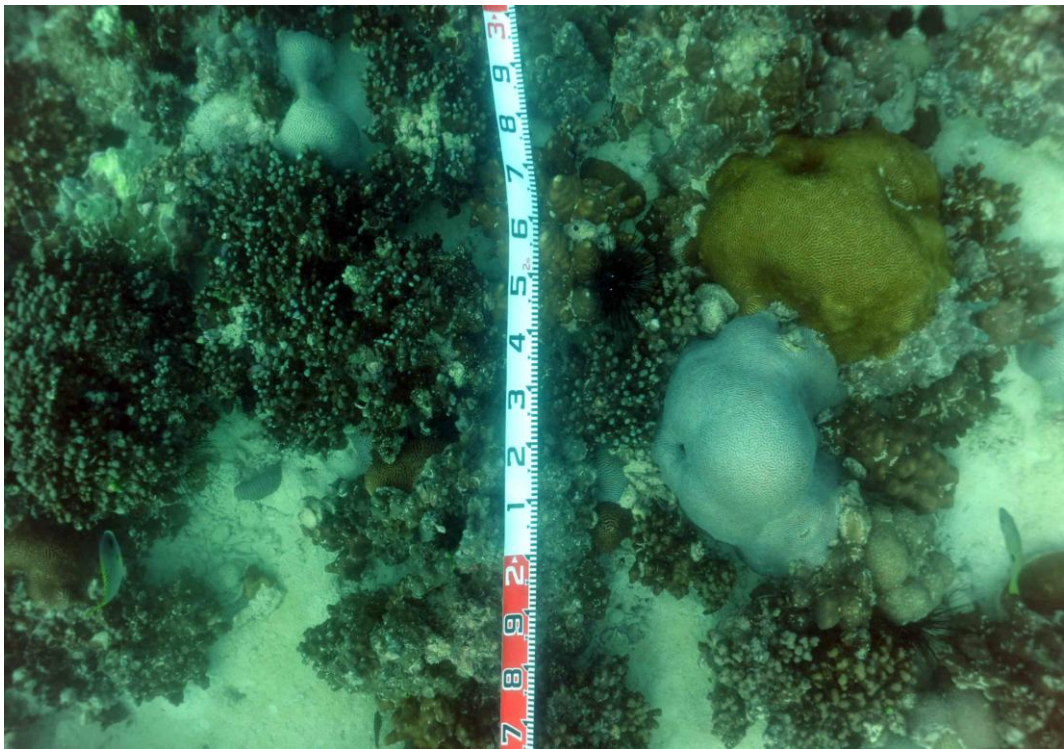


Fig. 3-13 密に生育するサンゴ群集の様子

3.2 現況調査の結果

Al Dhabia と Saadiyat の 2 地点で 2009 年 6 月から 2011 年 10 月まで、適時現況調査を行った。調査項目はサンゴ被度、生育サンゴ種、稚サンゴ加入量とした。2009 年 6 月に初めて調査を行った段階では、Al Dhabia と Saadiyat は他の海域より比較的良好なサンゴ群集が生育していた。しかし、調査の結果 2011 年 10 月までにサンゴ群集は徐々に衰退傾向にあることが明らかとなった。

以下に、各調査の項目ごとに結果を記す。

3.2.1 サンゴ被度と底質

(1) Al Dhabia

2009 年の予備調査以降、少しずつサンゴの劣化が進む傾向にあった。Al Dhabia では 2009 年時点で 20%あったサンゴ被度が 10.8%に減少した (Fig. 3-14)。その中でも特に顕著であったのは、ミドリイシ属の衰退であった (Table 3-2)。被度の解析でも明らかに表れているが、2009 年 6 月時点では 2 種類のミドリイシ属が分布しており (被度 7.3%)、健全な群体を形成していたものが多かった。しかし、2010 年 10 月には群体数が激減しており、生残している群体も枝が折れるなどして群体が小型化していた。さらに 2011 年に発生した白化により、ミドリイシ属は 10 月時にはほとんどが死滅していた (被度 0.4%)。ハマサンゴ科やキクメイシ科、キサンゴ科スリバチサンゴ属も 2010 年時点で少し衰退傾向が見られていたが、2011 年の白化被害を受けたものが多く、被度の減少が見られた。

また、底質は大部分を占めるのがサンゴ質の脆い岩盤であり、その周りは砂地となっていた。

(2) Saadiyat

Saadiyat でも 2009 年 6 月から 2011 年 10 月にかけて、白化によるサンゴ被度の減少が起きた (Fig. 3-14)。2009 年時には 83%であったのに対し 2011 年には 41.9%と約半分に減少したが、これはサンプリングした長さが異なることも影響し、明確な減少とは異なる。生息群体数が多いため、ハマサンゴ科で最も減少が顕著であった (Table 3-2)。一見、ミドリイシ属では白化の影響がないように見えるが、Al Dhabia と同様にミドリイシ属の衰退は顕著であった。また、ハマサンゴ科、ククメイシ科も白化が目立った。全体的には Al Dhabia 程には劣化していないが、白化に比較的強いとされるハマサンゴ科やククメイシ科のサンゴが白化している事態は非常に深刻である。サンゴ被度の低下に伴ってか、2009 年と比べて 2011 年は死んだサンゴから成る空いた岩盤が目立った。

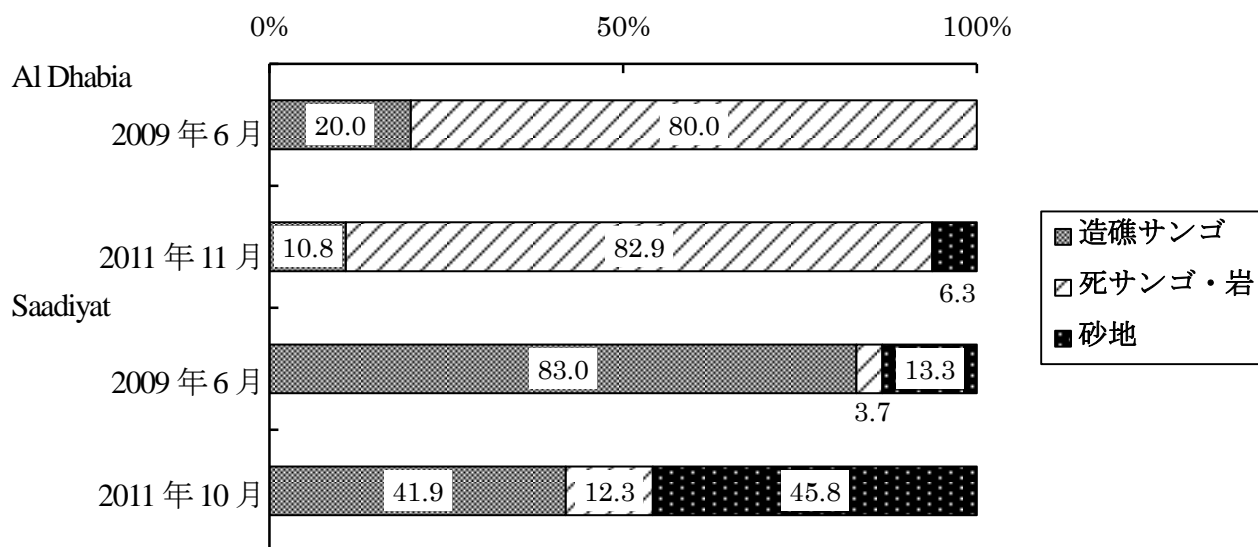


Fig. 3-14 アブダビ2定点のサンゴ被度及び底質

Table 3-2 各定点の種類別サンゴ被度及び底質 (%)

海域	Al Dhabia	Al Dhabia	Saadiyat	Saadiyat
調査日	2009年6月	2011年10月	2009年6月	2011年10月
ライン長さ(m)	15	100	15	100.0
Poc.	0.3	0.0	0.0	0.0
Acr.	7.3	0.4	0.0	0.7
Por.	11.3	9.6	62.3	16.8
Fav.	1.0	0.8	17.3	24.4
Oth.	0.0	0.0	3.3	0.0
サンゴ合計	20.0	10.8	83.0	41.9
死サンゴ・岩	80.0	82.9	3.7	12.3
瓦礫	0.0	0.0	0.0	0.0
砂地	0.0	6.3	13.3	45.8
その他底質	0.0	0.0	0.0	0.0

3.2.3 生息サンゴの種類構成

ペルシャ湾には7科14属34種の造礁サンゴ類が生息していたと言われている。本研究の期間中、生息が確認できたのはAl Dhabia と Saadiyat の2海域で7科24種であった (Table 3-3)。生息しているサンゴのほとんどは準塊状のハマサンゴ科、塊状のキクメイシ科であり、Al Dhabia と Saadiyat で共通出現種は12種であった。優占種には *Porites harrisoni*, *Porites nodifera*, *Platygyra daedalea* などが含まれる。

先述の通り、研究期間中の2011年に調査海域でサンゴの白化を確認した。その結果、Al Dhabia と Saadiyat でサンゴ被度が減少したが、群集構成にも変化があり、Al Dhabia では2009年時には18種生息していたが2011年時には12種に減少した。特にミドリイシ属やハナヤサイサンゴ科の被害が大きいように見え、生息群体数が明らかに減少した。

Saadiyat でも同様に白化被害を確認したが、こちらの海域は2009年、2011年とも16種のサンゴを確認し、種数の減少は起こらなかった。

Table 3-3 Abu Dhabi 2 地点に確認出来たサンゴ種リスト (○生息；—未確認)

		Al Dhabia		Saadiyat	
		09 年 6 月	11 年 10 月	09 年 6 月	11 年 10 月
Pocilloporidae	ハナヤサイサンゴ科 1sp.				
<i>Stylophora pistillata</i>	ショウガサンゴ	○	○	—	—
Acroporidae	ミドリイシ科 8sp.				
<i>Acropora clathrata</i>	サンボウミドリイシ	○	○	—	
<i>Acropora downingi</i>		○	○	○	○
<i>Acropora tenuis</i>	ウスエダミドリイシ	—	—	—	—
<i>Acropora valida</i>	ホソエダミドリイシ	—	—	—	—
<i>Acropora pharaonis</i>		—	—	—	—
<i>Acropora florida</i>	サボテンミドリイシ	—	—	—	—
<i>Acropora horrida</i>	ヤセミドリイシ	—	—	—	—
<i>Acropora valenciennesi</i>		—	—	—	—
<i>Acropora arabensis</i>		—	—	—	—
Poritidae	ハマサンゴ科 6sp.				
<i>Porites lutea</i>	コブハマサンゴ	—	—	○	—
<i>Porites harrisoni</i>		○	○	○	○
<i>Porites nodifera</i>		○	○	○	○
<i>Porites mayeri</i>	スジハマサンゴ	—	—	—	—
<i>Porites lobata</i>	フカアナハマサンゴ	—	—	—	—
<i>Porites solida</i>	オオハマサンゴ	—	—	—	—
Siderastreidae	ヤスリサンゴ科 4sp.				
<i>Coscinarea monile</i>		—	—	○	○
<i>Siderastrea savignyana</i>		—	—	—	○
<i>Pseudosiderastrea tayamai</i>	タマヤスリサンゴ	—	—	—	○
<i>Psammocora contigua</i>	ヤッコアミメサンゴ	—	○	○	○
Mussidae	オオトゲサンゴ科 1sp.				
<i>Acanthastrea echinata</i>	ヒメオオトゲキクメイシ	—	—	○	—

Faviidae キクメイシ科 12sp.				
<i>Platygyra lamellina</i> ノウサンゴ	○	○	○	○
<i>Platygyra daedalea</i> ヒラノウサンゴ	○	○	○	○
<i>Platygyra crosslandi</i>	○	—	○	○
<i>Favia fava</i> スボミキクメイシ	○	—	—	○
<i>Favia pallida</i> ウスチャキクメイシ	○	○	○	○
<i>Favia rotumana</i> ロツマキクメイシ	○	—	○	—
<i>Favites pentagona</i> ゴカクキクメイシ	○	—	○	—
<i>Plesiastrea versipora</i> コマルキクメイシ	○	—	○	○
<i>Cyphastrea microphthalma</i> トゲキクメイシ	○	○	○	○
<i>Cyphastrea serailia</i> フカトゲキクメイシ	○	○	—	○
<i>Leptastrea purpurea</i> ルリサンゴ	—	—	—	—
<i>Leptastrea transversa</i> アラルリサンゴ	○	—	—	—
Dendrophyllidae キサンゴ科 2sp.				
<i>Turbinaria reniformis</i> ヨコミゾスリバチサンゴ	○	○	○	○
<i>Turbinaria peltata</i> オオスリバチサンゴ	○	—	—	—

3.2.4 海域への稚サンゴ加入

自然界のリーフにおける稚サンゴ加入量の実態を知るために、稚サンゴの分布調査を行った。稚サンゴは約 1 才未満と考えられる最大直径 20 mm 以下を対象とした。その結果、Al Dhabia と Saadiyat では全く異なる傾向が見られた (Table 3-4)。

Al Dhabia ではサンゴモに覆われた場所に参加したサンゴを計数するため、比較的容易に稚サンゴを発見出来た。加入した稚サンゴは幼生保育型のハナヤサイサンゴ科が少数見られた。この種は幼生が親の近くに着生することが知られている。他には一斉産卵を行う種であるキクメイシ科やハマサンゴ科の稚サンゴが少数見つかった。2009 年以降、Al Dhabia のサンゴ群集が急速に劣化しているのと合わせるように、2011 年の稚サンゴ加入数はゼロになってしまった。

Saadiyat では健全なサンゴが密に生育しているために、サンゴ幼生の加入できる空き地が少なく、そのために稚サンゴが見つからないとしていた。しかし 2010 年の調査で、砂に埋もれた海底が本来の幼生加入場所であることがわかってきた。堆積している砂の厚さは薄いところで 1 cm 以下、厚いところで約 10 cm である。砂地に分布している小型のキクメイシ科 (例えば直径約 10 cm) の周りにある砂を除去すると、群体は堅い海底の岩盤から育っており、砂に埋もれていた部分は死亡していた。また、砂を除去すると、海底の岩盤から直径 20 mm 以下の死んだキクメイシ科の稚サンゴが多数発見出来た (Fig. 3-15)。これらの結果から 2011 年に改めて稚サンゴの探索を行うと、キクメイシ科 28 群体、ハマサンゴ科 1 群体を砂地から見つけることが出来た。

Table 3-4 定点における直径 2cm 以下の稚サンゴ数

定点	調査日程	Poc. (群体)	Acr. (群体)	Por. (群体)	Fav. (群体)	その他 (群体)	合計 (群体)	調査時間 (分)
Al Dhabia	2009 年 6 月	5	0	3	3	2	13	30
	2010 年 10 月	5	0	37	0	0	42	60
	2011 年 10 月	0	0	0	0	0	0	60
Saadiyat	2009 年 6 月	0	0	0	0	0	0	30
	2010 年 10 月	0	0	0	0	0	0	60
	2011 年 10 月*	0	0	1	28	0	29	60

*: 砂の除去後に計数

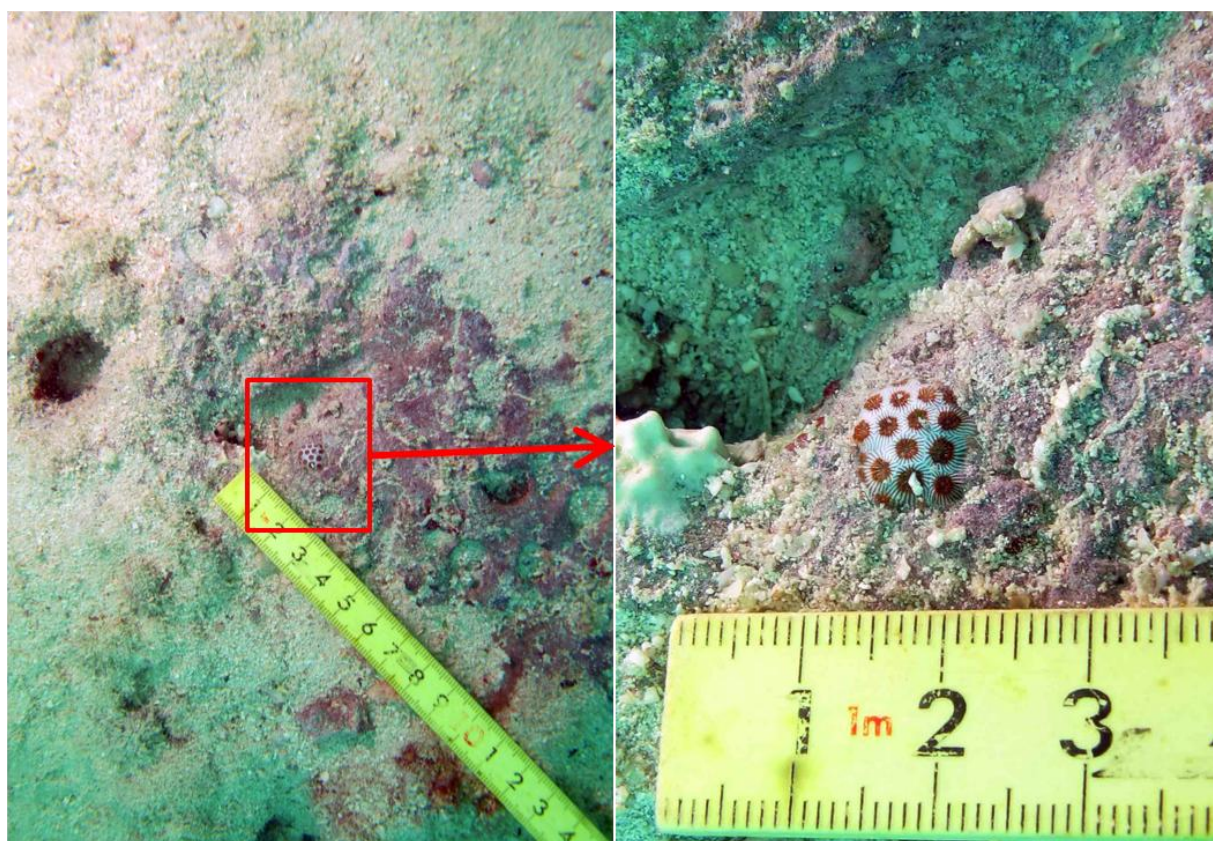


Fig. 3-15 底面に生育していたキクメイシ科稚サンゴ (Saadiyat)

3.2.5 水温

Al Dhabia と Saadiyat で2 定点の水温を2010 年3 月31 日から10 月10 日まで計測した。水温の計測は1 日6 回(4 時間毎) 行い, 得られた数値から日平均水温を算出した。その結果を下の Fig. 3-16 に示す。

Al Dhabia, Saadiyat とともに夏季の最高水温が 35°C を超え, 冬季の最低水温は約 20°C と差が 15°C 以上あり, サンゴにとっては過酷な環境下にあることを再確認した。2 定点間での水温差は明確には見られないが, 2011 年8 月から10 月にかけては Al Dhabia の方が高水温だった。

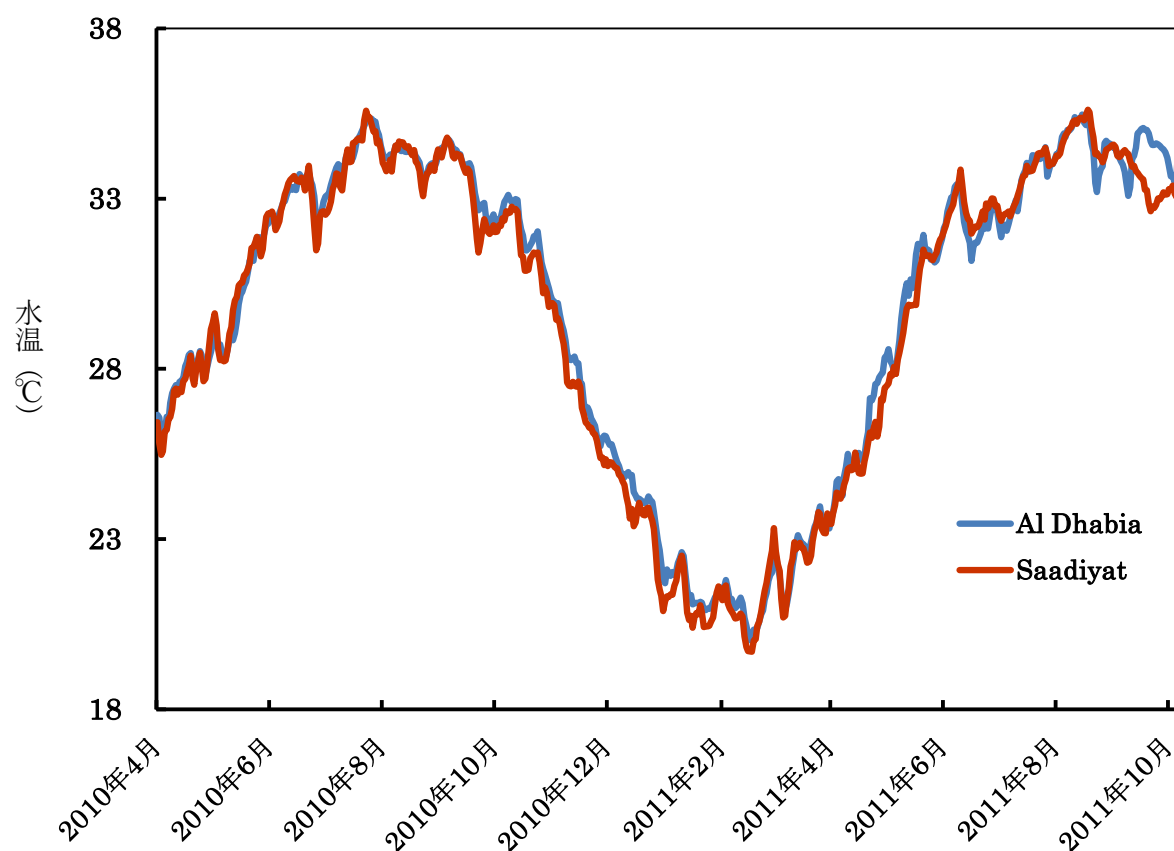


Fig. 3-16 調査期間中の各定点における日平均水温グラフ

3.3 セラミック着床具へのサンゴ幼生加入量

3.3.1 2010 年の幼生加入

2010 年の 3 月から 5 月にかけて、3 回に分けて設置したセラミック着床具は定点、設置時期毎に着生数に大きな差があった (Table 3-5)。設置期間毎に着床具 1 個に着生したサンゴの数を Fig. 3-17 に示す。

Al Dhabia では 3 月に設置した着床具から、幼生保育型の生殖様式をとるハナヤサイサンゴ科の着生を 32 群体確認した。また、一斉産卵型のハマサンゴ科は 5 月に設置した着床具から 1 群体のみであった。

一方、Saadiyat では 4 月、5 月に設置した着床具からキクメイシ科を中心にそれぞれ 54, 83 群体の着生があった。

Table 3-5 2010 年設置セラミック着床具の解析結果

定点	設置日程	回収日程	Poc. (群体)	Acr. (群体)	Por. (群体)	Fav. (群体)	その他 (群体)	合計 (群体)	着床具数 (個)
Al Dhabia	2010-Mar.	2010-May	32	0	0	0	0	32	240
	2010-Apr.	2010-Oct.	0	0	0	0	0	0	240
	2010-May	2010-Oct.	0	0	1	0	0	1	240
Saadiyat	2010-Mar.	2010-May	0	0	0	0	0	0	240
	2010-Apr.	2010-Oct.	0	0	0	53	1	54	240
	2010-May	2010-Oct.	0	0	0	79	4	83	240

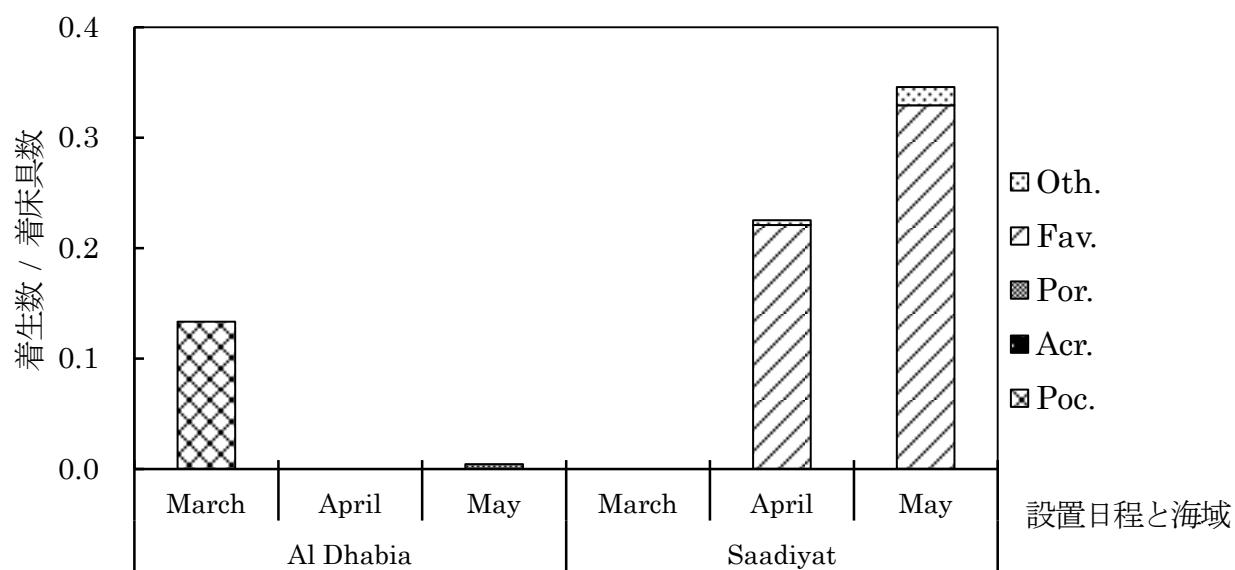


Fig. 3-17 2010 年の幼生来遊量 (平均着生数)

3.3.2 2011 年の幼生加入

2011 年のサンゴ幼生加入量を計測するため、4 月の満月前である 3 月 30, 31 日に 720 個ずつ各海域に設置した。両海域とも、概ね 2010 年に設置した着床具と同様の着生傾向を示した (Table 3-6)。

Al Dhabia ではハナヤサイサンゴ科を中心として 19 群体のサンゴが着生した。2010 年設置のものには着生していなかったが、ミドリイシ属 2 群体が着生していた。

Saadiyat も前年と同様、キクメイシ科を中心に 88 群体のサンゴが着生した。加えて、こちらも 2010 年には加入のなかったミドリイシ属が 1 群体着生した。

2 海域とも、ミドリイシ属が着生していたが、2010 年と比べると着床具 1 個あたりの平均着生数が減少していた (Fig. 3-18)。

Table 3-6 2011 年設置のセラミック着床具の解析結果

定点	設置日程	回収日程	Poc. (群体)	Acr. (群体)	Por. (群体)	Fav. (群体)	その他 (群体)	合計 (群体)	着床具数 (個)
Al Dhabia	2011-Mar.	2011-Oct.	15	2	2	0	0	19	720
Saadiyat	2011-Mar.	2011-Oct.	0	1	0	87	0	88	720

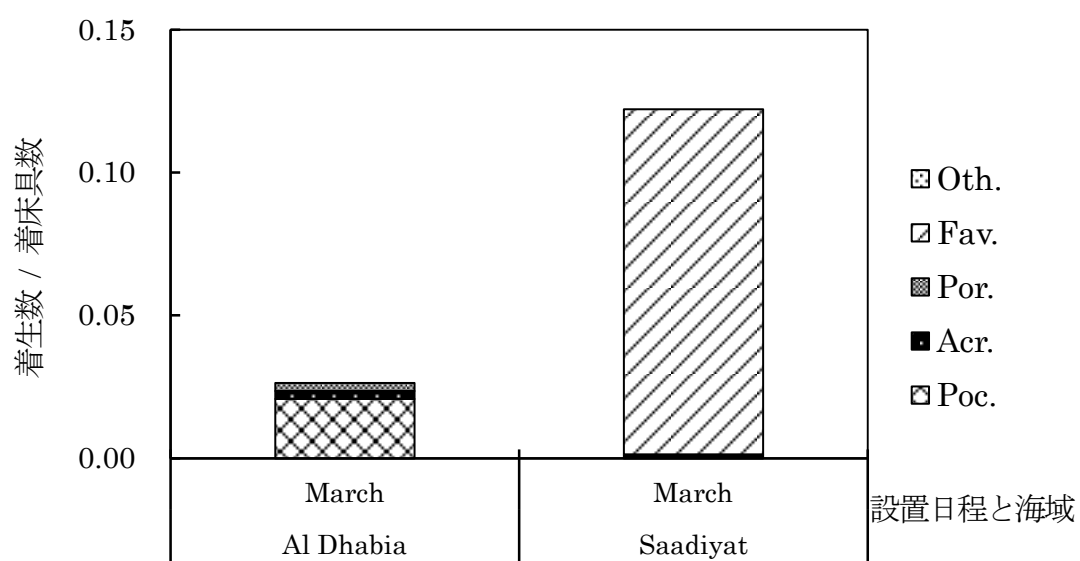


Fig. 3-18 2011 年の幼生来遊量 (平均着生数)

3.4 スラグセラミック着床具への稚サンゴ加入

着生から1年以降の稚サンゴの成長・生残を調べるため、2010年3,4,5月の3回に分けてスラグセラミック着床具600個を各海域へ設置した。設置から約1年半後の2011年10月に回収し、生残しているサンゴを計数した。

その結果、Al Dhabia, Saadiyat とも生残しているサンゴはゼロであった (Table 3-7)。

Table 3-7 2010年設置のスラグセラミック着床具に生残していたサンゴ

定点	設置_回収日程	Poc. (群体)	Acr. (群体)	Por. (群体)	Fav. (群体)	その他 (群体)	合計 (群体)	着床具数 (個)
	2010-Mar._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
Al Dhabia	2010-Apr._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
	2010-May._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
	2010-Mar._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
Saadiyat	2010-Apr._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
	2010-May._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200
	2010-Mar._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	200

3.5 プレート型マリンプロックへの稚サンゴ加入

スラグセラミック着床具と同様に、着生から1年以降の稚サンゴの成長・生残追跡を行うためプレート型マリンプロックを2010年3、4、5月の3回に分けて12個を各海域へ設置した。設置から約1年半後の2011年10月に全て回収し、生残しているサンゴを計数した。

結果はスラグセラミック着床具と同じく、2海域とも生残しているサンゴはゼロであった (Table 3-8)。

Table 3-8 プレート型マリンプロックに生残していたサンゴ群体数

定点	設置_回収日程	Poc. (群体)	Acr. (群体)	Por. (群体)	Fav. (群体)	その他 (群体)	合計 (群体)	MB 数 (個)
	2010-Mar._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4
Al Dhabia	2010-Apr._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4
	2010-May._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4
	2010-Mar._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4
Saadiyat	2010-Apr._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4
	2010-May._2011-Oct.	0	0	0	0	0	0	4

第IV章 考察

4.1 アブダビ海域におけるサンゴ再生産力の評価について

本研究では、最も環境負荷の大きなサンゴ礁とも呼ばれるペルシャ湾のアブダビ海域において、サンゴ再生産力評価を行った。評価には3項目あり、サンゴの現状把握、サンゴ幼生の加入量、着生から1年以降の稚サンゴ生残数について調べることで、サンゴの再生産力評価を行う事を目的とした。

4.1.1 アブダビ海域の概況（予備調査について）

本研究は2009年6月に5海域（Al Buzum, Al Radim, Mughirah, Al Dhabia, Saadiyat）で行った予備調査の結果、比較的良好なサンゴ群集が生育していた Al Dhabia と Saadiyat でサンゴ再生産力の評価を行った。

実験海域の中では西側に位置する Al Buzum と Al Radim では過去にサンゴ群集が生育していたと推察されるが、調査時点では稀にハマサンゴ科、キクメイシ科が生育しているのみであった。サンゴ被度は2海域とも5%以下であり、稚サンゴは Al Buzum からキクメイシ科が1群体のみ発見できた。Mughirah は砂地に海草が繁茂しており、サンゴは生育していなかった。

一方、それらより東側に位置する Al Dhabia と Saadiyat にはハマサンゴ科、キクメイシ科、少量のミドリイシ属が生育しており、サンゴ被度は2009年時点ではそれぞれ20%、83%であった。主な底質は Al Dhabia ではサンゴ質の脆い岩盤であり、Saadiyat では硬化した岩盤に砂が薄く堆積していた。ペルシャ湾には7科34種のサンゴが生育するが、研究期間中に7科24種のサンゴを確認した。特に、環境負荷に比較強いとされるハマサンゴ科やキクメイシ科のサンゴが多く見られ、健全なサンゴ礁に多いミドリイシ属のサンゴは少なかった。ミドリイシ属は一斉産卵を行

うグループで、1 度に多くの幼生を産出することや、軽い骨格をもち成長が早いことからサンゴ礁の存続を大きく左右する。調査時点でのアブダビ海域のようにミドリイシ属が少なく不健全なサンゴは、現時点でサンゴ礁として成り立っていても、また新たに環境ストレスが加わった場合、回復せずに死滅に向かう恐れがあると考えられた。

4.1.2 Al Dhabia での評価結果について

(1) サンゴの現況

予備調査を行った 2009 年 6 月時点ではハマサンゴ科やキクメイシ科、ミドリイシ属などがサンゴ質の脆い岩盤上に点在していた。生息していたサンゴは 6 科 18 種、サンゴ被度は 20%と比較的良好なサンゴ群集が生育していた。しかし、研究期間中にもサンゴの衰退は進行しサンゴ被度は 2011 年 10 月には 10%まで減少した (Fig. 4-1)。2010 年の調査時には群体の一部が死亡して小型化したミドリイシ属を散見したが、2011 年に発生した白化によりほとんどの群体が死滅していた (Fig. 4-2)。比較的環境負荷に強いとされるハマサンゴ科やキクメイシ科でも、群体の一部または全体が白化していたことから、2011 年の白化は重度であったことが窺えた。

生育していた稚サンゴはハマサンゴ科やハナヤサイサンゴ科、キクメイシ科など、リーフ上の空いた岩盤に比較的容易に見つけることが出来た。ハナヤサイサンゴ科は幼生保育型の生殖形式であり、幼生は親サンゴの近くに着生するため、この海域で産まれたものが着生した可能性が高い。その一方、ハマサンゴ科やキクメイシ科は放卵放精型であるため幼生は広く分散し、遠方の海域から海流によって運ばれてきた可能性が高い。2009 年、2010 年の調査では稚サンゴを確認出来たが、2011 年の調査では稚サンゴの加入はゼロとなった。2011 年に加入した稚サンゴは 2010 年以前に産まれた群体であるため、このことは海流の上流域にあるサンゴが Al Dhabia より早く攪乱を受けていた可能性を示唆している。



Fig.4-1 作業時の Al Dhabia の様子 (左 : 2010 年 3 月, 右 : 2011 年 10 月)

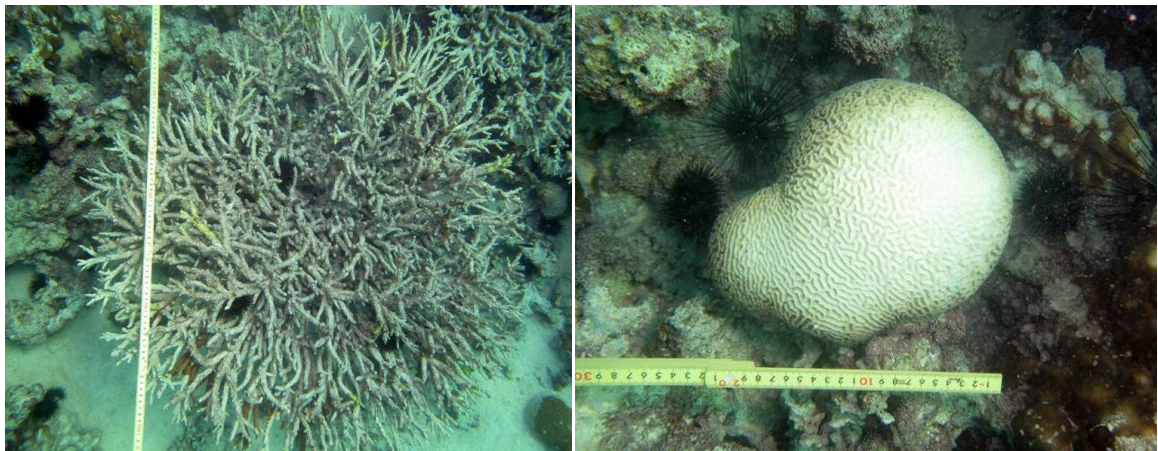


Fig.4-2 白化・死亡したサンゴ (2011 年 10 月撮影)

左 : ミドリイシ属, 右 : キクメイシ科

(2) セラミック着床具へのサンゴ幼生加入について

セラミック着床具を用いたサンゴ幼生加入量の計測は、2010 年と 2011 年の 2 回行った。その結果、ハナヤサイサンゴ科を中心としてごく少数の加入があった。しかし、全体として Al Dhabia はサンゴ幼生の加入量が非常に少ないという結果であった。

2010 年は 3 月に設置した着床具からハナヤサイサンゴ科が着生していたが (32 群体/着床具 240 個), 4 月と 5 月に設置した着床具にハナヤサイサンゴ科は着生していなかった。ここから、幼生放出の期間が 3 月の満月後から 4 月の満月前であったことが推察出来る。また、5 月に設置した

着床具にはハマサンゴ科が着生しており（1 群体/240 個）、一斉産卵時期は5 月以降であることが明らかとなった。

2011 年は2010 年の着生結果を参考に4 月の満月（4 月 18 日）前である3 月 30 日、31 日に設置を行った。その結果、着床具 720 個にハナヤサイサンゴ科 15 群体とハマサンゴ科 2 群体、さらにミドリイシ属 2 群体の加入があった。ここから、ミドリイシ属の一斉産卵時期が4 月もしくは5 月の満月以降であることが明らかとなった。また、着生していたハナヤサイサンゴ科 15 群体は全ての群体が藻類に被覆されるなどして死亡していたと見られる。ここから、着生した群体が夏季を超えて10 月（約7 ヶ月齢）まで生残することが困難な環境であることが読み取れた。

（3）着生から1 年以降の稚サンゴの生残調査について

この評価項目では、スラグセラミック着床具とプレート型マリンブロックを用いて着生から1 年以降生残していた稚サンゴを調べた。その結果、両器材とも生残していた稚サンゴはゼロという厳しいものであった。セラミック着床具を用いた幼生加入調査では、主にハナヤサイサンゴ科の加入が認められた。しかし、着生から約1 年6 ヶ月後までサンゴは生残しておらず、サンゴの生育が難しい環境であることが明らかとなった。

サンゴが生残出来なかった要因としては、付着生物との競合による影響が大きいと推察した。マリンブロック穴や着床具の隙間に1 から複数個の二枚貝類（主にアコヤガイ）が生育しており、二枚貝類が生育していない穴や隙間にもホヤ類が棲みついでおり、器材表面に大きく成長していた（Fig. 4-5, Fig. 4-6）。

2010 年10 月に、ホヤ類の除去を行ったが、固着基盤部は穴や隙間にあるため取り除くことは出来ず、サンゴの生残は難しいことは予測できた（Fig. 4-3）。また、器材表面に微細藻類やアミジグサ類といった藻類が付着・生育していた（Fig. 4-4）。

このような付着生物との競合により、サンゴは生残出来なかったと考えられる。



Fig. 4-3 設置器材の様子 (2010 年 10 月)

左：マリنبロック、右：スラグセラミック着床具

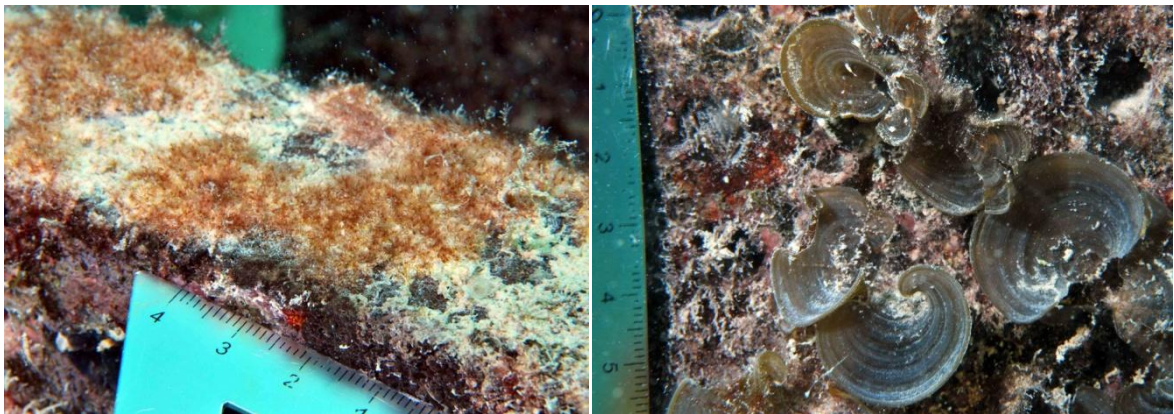


Fig. 4-4 MB に付着していた藻類 (左：芝状藻類, 右：アミジグサ類)



Fig. 4-5 2011 年 10 月回収時のマリنبロックの様子 (右は拡大図)



Fig. 4-6 スラグセラミック着床具の様子 (2011 年 10 月回収時)

左：ケース外観 右：二枚貝類が着生した着床具

4.1.3 Saadiyat での評価結果について

(1) サンゴの現況について

Saadiyat はキクメイシ科やハマサンゴ科が密に生育しており，2009 年はサンゴ被度が 83% と高い値であった。調査に使用したメジャーの長さが異なるため被度の減少は明確ではなかったが，2011 年には白化被害などで約 42% となった (Fig. 4-7)。サンゴ被度の調査ではミドリイシ属の影響はないように見えるが，実際にはミドリイシ属の群体数の減少は特に顕著であった。キクメイシ科やハマサンゴ科の比較的環境負荷に強いとされるサンゴであっても，群体の一部または全体が白化している状況は Al Dhabia と同じく危機的であると言える。

Saadiyat では 2009 年の研究開始当初，健全なサンゴが密に生育しているために幼生が加入する空き地が少なく，稚サンゴ加入数がゼロであることはさほど問題にならないと考えていた。しかし 2010 年の調査で，サンゴの間に砂の堆積した海底が本来のサンゴの加入場所であることがわかってきた。海底は硬化した炭酸カルシウムで釘も打ち込めないほど強固であり，堆積している砂の厚さは薄いところで 1 cm 以下，厚いところで約 10 cm ある。サンゴの幼生が着生していたのは

この砂に埋もれた岩盤であった。砂地に分布している小型のキクメイシ（例えば直径約5 cm）の場合、砂を除去すると、群体は海底の岩盤から育っているのに、砂に埋もれていた部分は死亡していた（Fig. 4-8）。また、堆積が薄い箇所の砂を除去すると、直径20 mm 以内の死んだキクメイシ科の稚サンゴを多数発見した。このような状況を踏まえ、2011年に改めて稚サンゴの探索を行うとキクメイシ科を中心として多くのサンゴを発見することが出来た。

以上の様な結果は、現在生育しているサンゴが死んだ場合、海底が砂に覆われた状態ではサンゴの新規加入があっても生残が難しく、回復には相当な時間がかかる可能性を示している。死んだサンゴの表面がきれいな状態に保たれていれば、そこに加入することは可能である。しかし、2011年の白化で死んだサンゴの表面には懸濁物が薄く堆積し、幼生が着生しにくい環境であった。



Fig. 4-7 作業時の Saadiyat の様子（左：2010 年 10 月，右：2011 年 10 月）

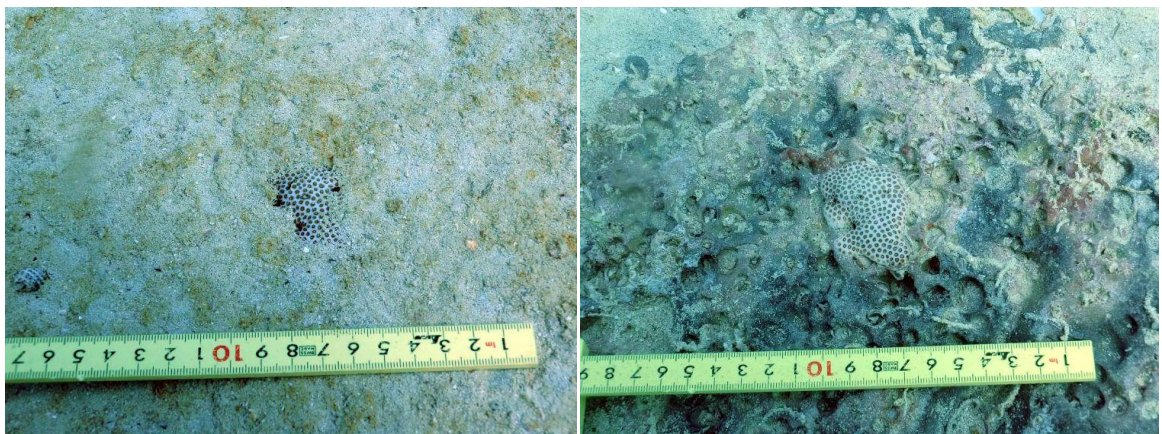


Fig. 4-8 砂に埋没していたキクメイシ科サンゴ（2010 年 10 月撮影）

(2) セラミック着床具へのサンゴ幼生加入について

セラミック着床具を用いたサンゴ幼生の加入量計測では, Al Dhabia とは異なる着生傾向が見られた。

2010 年は4月及び5月に設置した着床具に比較的多くのキクメイシ科が着生していた (4月 ; 53 群体 / 240 個, 5月 : 79 群体 / 240 個)。このことから, キクメイシ科の着生時期は3月ではないことがわかった。もし4月と5月設置の着生サンゴのサイズ構成が同一であれば, 産卵は5月の着床具設置以降となる (Fig. 4-9)。計測した最大直径の分布が歪んでいたため, 非正規分布としてマン・ホイットニイ検定による統計的解析を行った結果, 両者の平均値に有意な差は見られなかった ($p>0.05$)。ここから, キクメイシ科の産卵は5月以降であったと判断した。キクメイシ科の一斉産卵はミドリイシ属など他のサンゴと産卵を同調することも知られており, ミドリイシ属のサンゴも5月以降に産卵を行うと推測できた。

2011 年に設置した着床具には, 前年と同様にキクメイシ科が多数を占め (87 群体 / 720 個), 加えてミドリイシ属 (1 群体 / 720 個) が着生していた。ミドリイシ属の産卵が行われていることを確認できた事は大きな成果であるが, 着生数が極めて少なく, 今後ミドリイシ属の自然回復は難しいだろう。

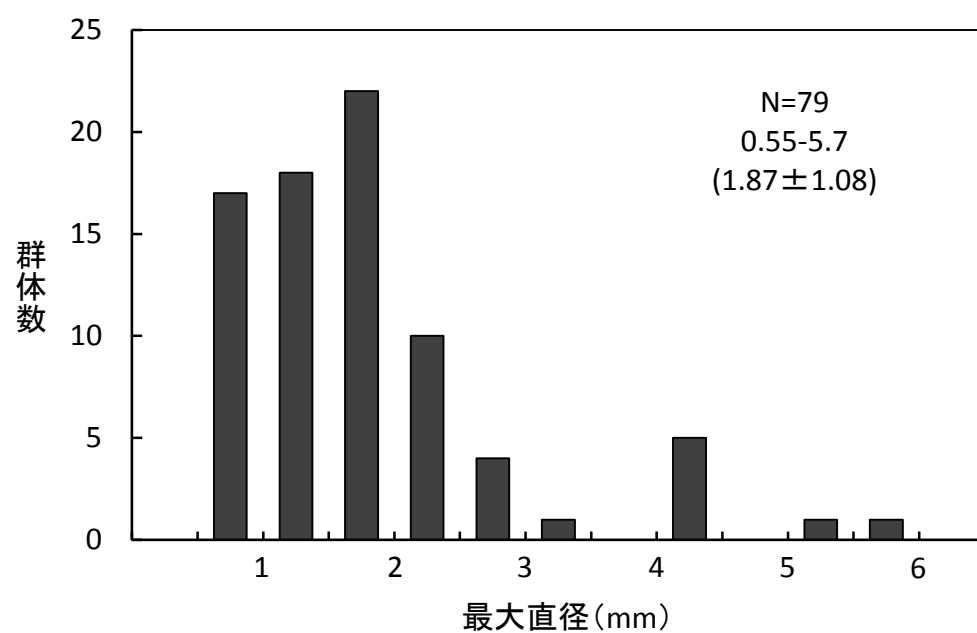
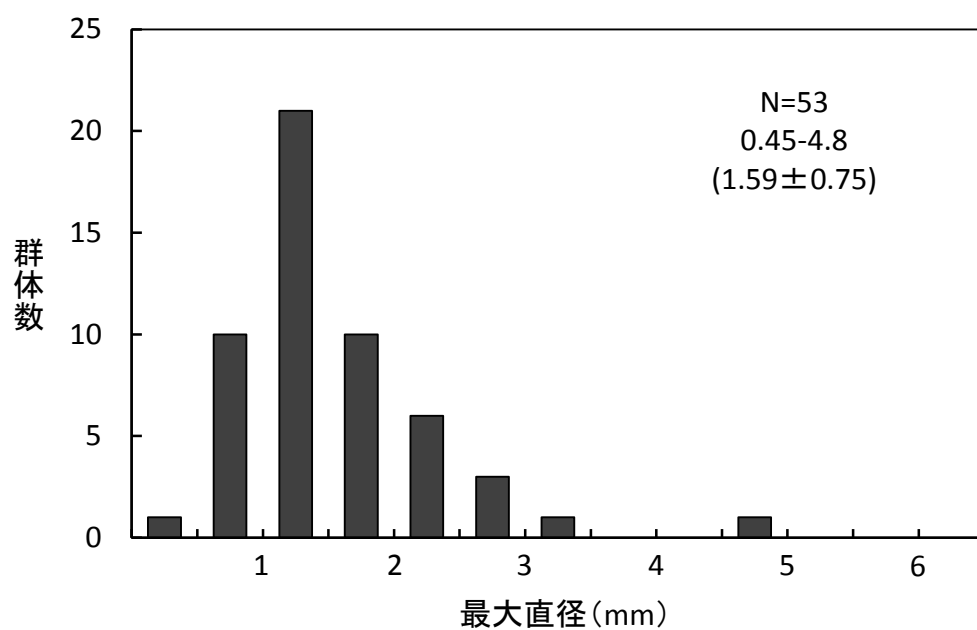


Fig.4-9 設置期間毎のキクメイシ科最大直径ヒストグラム

上段：2010年4月設置，下段：2010年5月設置

(3) 着生から1年以降の稚サンゴ生残調査について

スラグセラミック着床具とプレート型マリنبロックを用いて着生から1年以降、生残していた稚サンゴを計測した。その結果、両器材とも生残していた稚サンゴはゼロという厳しいものであった。

セラミック着床具を用いた幼生加入調査では、キクメイシ科の加入が確認された。しかし、着生から約1年6ヶ月後までサンゴは生残出来ず、サンゴの生育が難しい環境であることが改めて明らかとなった。サンゴが生残出来なかった要因としては、Al Dhabiaと同様に付着生物との競合による影響が大きいと考えられる。2010年10月（設置から約6ヶ月後）に、設置器材の経過観察を行うとホヤ類や二枚貝類が生育していた（Fig. 4-10, Fig. 4-11）。また、2011年10月（設置から約1年6ヶ月後）に器材を回収すると、器材の表面には大型の二枚貝類が成長し、サンゴ着生用のマリنبロック穴などは覆われていた（Fig. 4-12）。このような付着生物との競合により、サンゴは生残出来なかったと考えられる。

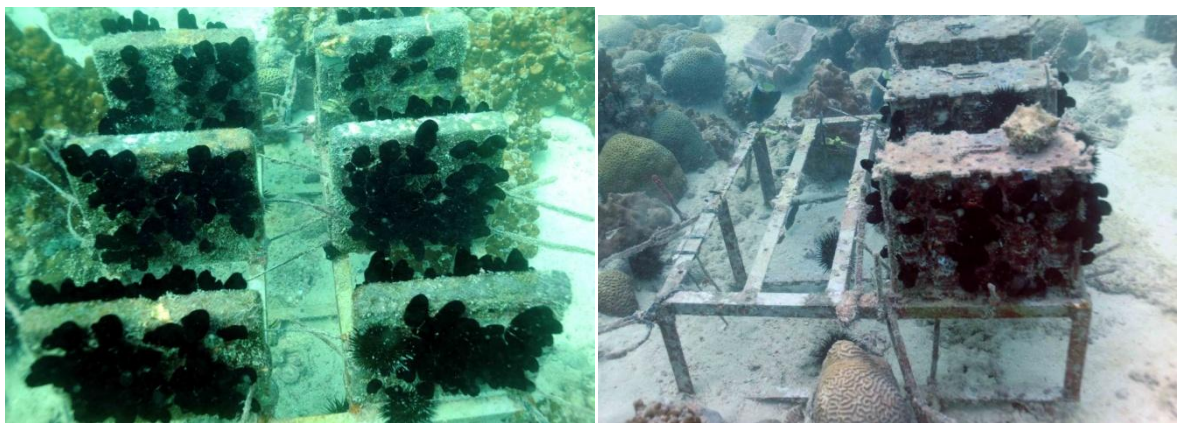


Fig. 4-10 設置器材の様子（2010年10月）



Fig. 4-11 スラグセラミック着床具の間に生育する二枚貝の仲間

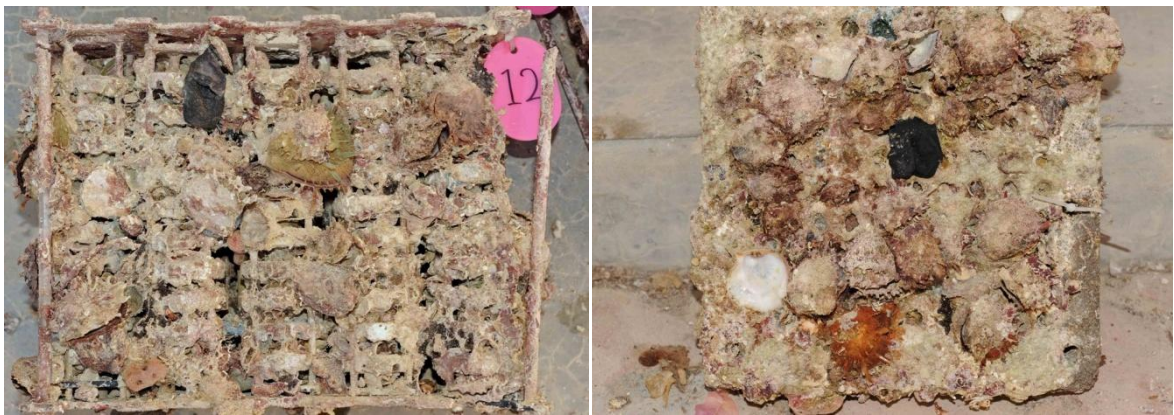


Fig. 4-12 器材表面を覆う大型の二枚貝 (2011 年 10 月回収時)

左：スラグセラミック着床具 右：マリنبロック

4.1.4 サンゴ再生産力評価についての総括

アブダビ海域の Al Dhabia と Saadiyat において、2009 年 6 月から 2011 年 10 月まで行ったサンゴの再生産力評価についての結果をまとめる。

Al Dhabia は研究期間中にもサンゴ群集の衰退が進み、今後数年以内に予備調査時点での Al Buzum や Al Radim の状況に近づくと想像される。なぜなら、次の世代を担う稚サンゴが非常に少ないため、回復する見込みが乏しいからである。たとえ幼生が来遊しても芝状藻類などによっ

てサンゴ質の基盤に幼生が着生しにくく、着生してもウニ類などの摂食圧が大きいために、稚サンゴの成長を妨げている。また、着床具へのサンゴ幼生の加入は極めて少なく、ホヤ類や二枚貝類との競合により着床具やマリنبロック穴での生残も難しいことが判明した。

これらの事実から、Al Dhabia はサンゴが衰退し、回復の見込みが低い海域である。そのため今後再生が必要であり、移植用のサンゴ種苗を得ることが出来る海域と、さらにサンゴ幼生を育成できる海域を探索する必要があると考えられる。

Saadiyat は現時点ではキクメイシ科やハマサンゴ科の健全な群体が比較的多く生育していた。しかし、2011 年に発生したような白化が続けば、次第に衰退していくことが予測される。砂の堆積がない岩盤があれば稚サンゴの加入はある程度期待できるが、現状では砂や堆積物に覆われており、着生基盤として機能していない。また、着床具への幼生加入はキクメイシ科を中心として少数あるが、Al Dhabia と同様にホヤ類や二枚貝類との競合により生残が難しい環境にある。

よって Saadiyat では、まず現存のサンゴを保全することが必要である。そのためには稚サンゴの着生・生残を妨げている砂や堆積物を定期的に取り除く試みが有効であると考えられる。また、着床具やマリنبロックを用いて減少したサンゴの再生を行う場合、競合生物に被覆されてしまうことを防ぐため、着生後、別の清浄な海域へ移動し育成することが必要であると結論付けた。

4.2 アブダビ海域のサンゴ再生に向けた提案

アブダビ海域におけるサンゴの再生産力評価を行った結果、研究海域では現在もサンゴが衰退中であり、今後回復する可能性は低いという事が明らかとなった。アブダビ海域で過去に優占していたとされるミドリイシ属サンゴは、群体数が著しく減少傾向にあり、幼生の加入も少ない。また、ハマサンゴ科やキクメイシ科の群体も減少しており、幼生の加入数も決して多いとは言えない状態であった。

そこでこの節では、アブダビ海域を代表するミドリイシ属、ハマサンゴ科、キクメイシ科のサ

ンゴについて衰退状況を改善すべく、どのような策を講じることが出来るのか考察していく。

4.2.1 ミドリイシ属について

ミドリイシ属のサンゴを再生させるためには、まずミドリイシ属の一斉産卵の前に着床具を幼生着生に適した海域に設置する。もしその海域が富栄養または懸濁物の多い海域の場合は着生した稚サンゴが藻類や貝類、ホヤ類と競合しないように、着生から数ヶ月のうちに海水が清浄な育成海域に移動する。育成したミドリイシ属が競合生物の影響を受けても成長出来るサイズまで成長した時点で、着生している着床具ごと移植に用いる。

本研究で調査した Al Dhabia, Saadiyat の2海域のうち Al Dhabia はハナヤサイサンゴ科, Saadiyat ではキクメイシ科のみが着生を見込めるが、この状態ではミドリイシ属の再生は不可能である。今後ミドリイシ属の再生のために、より広くアブダビ海域を探索してミドリイシ属の幼生加入があり、育つことができる海域を探す必要があると考える。

4.2.2 キクメイシ科について

キクメイシ科の再生を行う場合、Saadiyat を着生海域として利用できる可能性がある。ただし、キクメイシ科も 2011 年には白化してしまった状況下であり、現在の環境下では今後も着生が見込めるかは予測出来ない。

Al Dhabia ではサンゴ質の基盤にキクメイシ科稚サンゴの加入がなく、セラミック着床具への着生も2年間ともゼロであった。このことから、現在残っているキクメイシ科が死亡した場合、消失してしまうことになる。

Saadiyat では海底の岩盤にも稚サンゴの加入があり、セラミック着床具への着生も少数ながらあった。ただし、海底の岩盤に着生したものは砂や懸濁物の影響で、また、スラグセラミック着

床具やプレート型マリブブロックのような基盤に着生したものは二枚貝類やホヤ類との競合に負け、着生から1年以降生残出来ない環境である。このことから、Saadiyat であっても現在のキクメイシ科群集が死滅した場合、消失してしまう状態にある。着床具へ幼生を着生させて移植を行う場合でも、砂や懸濁物、付着生物が少なく海水がより清浄な海域に移動して移植可能なサイズまで育成する必要がある。しかし、Saadiyat であってもキクメイシ科のサンゴ幼生加入量が少なく、再生が困難な状況であることには変わりはない。

4.2.3 ハマサンゴ科について

ハマサンゴ科の再生を行う場合、ミドリイシ属と同様に、まず幼生の着生に適した海域に着床具を設置する。そして必要ならば稚サンゴを育成できる海域へ移動し、移植可能なサイズまで育成した後、着生している着床具ごと再生海域へ移植する。

Al Dhabia では海底に少数のハマサンゴ科の稚サンゴが加入していたが、加入数は減少傾向にあり、セラミック着床具への着生も稀に見られる程度であった。Saadiyat ではセラミック着床具への加入が2年ともゼロであり、海底への加入も稀であった。このことから、両海域とも現在生残している群体が死亡した場合、消失してしまう可能性がある。そのため、ハマサンゴ科においても新たに幼生が着生し、移植可能サイズまで育成出来る海域を探索する必要があると言える。

4.3 アブダビ海域におけるサンゴ再生に向けた研究の展開

アブダビ海域のサンゴについて現状把握と動態予測を行った結果、サンゴが衰退中であり、調査海域では再生や環境改善が必要であるということが明らかとなった。前節では各種のサンゴについて再生策の提案を行ったが、再生を試みるにはアブダビ海域においてサンゴ幼生を着生させることが出来る海域、また、着生したサンゴを育成することが出来る海域を探索することが必要である。そこで、今後はそのような海域を探索することが最優先の課題であると言える。

これまでの報告 (Wilkinson 2000, 2004, 2008, Riegl 2003) から、アブダビ海域においてサンゴの着生・育成が可能な海域を推察する。これはつまり、ミドリイシ属を中心とした健全なサンゴ群集が生育している海域という意味である。

アブダビでは 1996 年、1998 年、2002 年に夏季の高水温による白化でミドリイシ属の 98%以上が死亡したと言われている。また、アブダビの西側海域ではハマサンゴ科、キクメイシ科など多くの種でサンゴが 60-80%白化した。その後の回復は海域によって差があり、ペルシャ湾の東側 (Jebel Ali と Ras Hasyan) では 2004 年までに回復が進み、西側では進まなかった。東側海域でより早く回復が進んだ理由としては、海流が関わっていると考えられる。ペルシャ湾では北西風が卓越しており、そのために湾の南岸は西から東に向けて潮流が流れている (Shinn 1975)。サンゴ幼生も潮流にのって運ばれるため、東側海域に多く幼生が来遊し、サンゴ群集の回復へと繋がったのではないだろうか。ミドリイシ属の回復は Sir Abu Nuair Island (アブダビの約 70 km 北方) で最も著しかった (Fig. 4-13)。この海域でも 2002 年に白化が起きたが、ミドリイシ属の白化はキクメイシ科やハマサンゴ科より軽度で、2004 年には 1996 年以前の状態まで回復したと報告されている。

また、2008 年にはアブダビから東側に位置する Ras Ghanada がサンゴの多様性が高い海域として報告され、Yasat や Dalma Island も良好なサンゴが高被度 (60-100%) に、健全な状態で生育していると報告されている。また、Sir Abu Nuair Island のサンゴもその後良好な状態で保たれている。

とされている。

これまでの報告と本研究で得られた結果を統合し、アブダビ海域のサンゴの状況についてまとめる。過去、断続的にサンゴの攪乱が起こってきたが、その後アブダビ西側海域より東側海域で回復が早かったと言われている。しかし、本研究で評価を行った中で最も東側海域にある Saadiyat でさえ、ミドリイシ属はほぼ衰退してしまっていた。ここから、沿岸のリーフではミドリイシ属がほぼ衰退してしまった可能性があるかと推測できる。そのため、今後ペルシャ湾アブダビ海域でミドリイシ属をはじめサンゴの延命を図る上では、沿岸だけでなく沖合の海域も含めて探索を続けることで可能性を探っていきたい。そして健全なミドリイシ群集を早期に発見し、保全再生を行っていくことが必要である。



Fig. 4-13 研究海域と新たに探索する海域の候補

参考文献

- 1) 西平守孝, Veron, J. E. 「日本の造礁サンゴ類」海游舎, 東京. 1995.
- 2) 西平守孝. 「足場の生態学」平凡社, 東京. 1996.
- 3) 土屋誠. サンゴ礁の生態系機能とその保全. 「海洋と生物」(生物研究社編), 東京. 1996;183-188.
- 4) Berkelmans R, Death G, Kininmonth S, Skirving WJ. A comparison of the 1998 and 2002 coral bleaching events on the Great Barrier Reef: spatial correlation, patterns, and predictions. *Coral Reefs*. 2004; 23: 74-83.
- 5) Douglas AE. Coral bleaching - how and why? *Marine Pollution Bulletin*. 2003; 43: 385- 392.
- 6) Pilcher NJ, Wilson S, Shaker H, Shokei AP Status of coral reefs in the Arabian/Persian Gulf and Arabian Sea region (Middle East). Willkinson C (eds). *Status of coral reefs of the World: 2000*. AIMS, Queensland, Australia. 2000; 55- 64.
- 7) Rezai H, Wilson S, Claereboudt, Riegl B, Coral reef status in the Ropme sea area: Arabian/Persian Gulf, Gulf of Oman and Arabian sea. *Status of coral reefs in the world: 2004*. Willkinson C (eds). *Status of coral reefs of the World: 2004*. AIMS, Queensland, Australia. 2004; 155- 169.
- 8) Maghsoudlou A, Arachi PE, Wilson S, Taylor O, Medio D, Status of coral reefs in the Ropme sea area (The Persian Gulf, Gulf of Oman and Arabian sea). Willkinson C (eds). *Status of coral reefs of the World: 2008*. AIMS, Queensland, Australia. 2008; 79- 90.
- 9) Riegl B. Climate change and coral reefs: different effects in two high-latitude areas (Arabian Gulf, South Africa). *Coral Reefs* 2003; 22: 433- 446.
- 10) Ashram OA(eds). *Waste and pollution sources in the Abu Dhabi Emirate*. The Environment Agency-Abu Dhabi. Abu Dhabi. 2005.
- 11) Bauman AG, Baird AH, Cavalcante GH. Coral reproduction in the world's warmest reefs: southern Persian Gulf (Dubai, United Arab Emirates). *Coral Reefs* 2011; 30: 405- 413.

- 12) 大久保奈弥, 大森信. これまでのサンゴ礁修復研究. 「サンゴ礁修復に関する技術手法 –現状と展望–」(大森信 編) 環境省自然環境局, 東京. 2003; 7- 17.
- 13) Okamoto M, Nojima S, Fujiwara S, Furushima Y. Development of ceramic settlement devices for coral reef restoration using in situ sexual reproduction of corals. *Fisheries Science* 2008; 74: 1245- 1253
- 14) 古島靖夫, 岡本峰雄. 石西礁湖(沖縄県石垣島)におけるサンゴ分布と流動との関係. 日本沿岸域学会論文集, 2002; 14, 107- 113.
- 15) 平成 16 年度 石西礁湖自然再生技術手法検討調査報告書. (環境省自然環境局沖縄奄美地区自然保護事務所編). 東京. 2005.
- 16) Roeroe AK, Yap M, Okamoto M. Development of a coastal environment assessment system using coral recruitment. *Fisheries Science* 2009; 75: 214- 224
- 17) 山室悠太. 着床具と人工基盤(マリンブロック)を用いた宮古島平良港でのサンゴ再生実験について. 修士論文, 東京海洋大学, 東京. 2011.
- 18) Feary DA, Burt JA, Bartholomew A. Artificial marine habitats in the Arabian Gulf: Review of current use, benefits and management implications. *Ocean & Coastal Management* 2011; 54: 742-749.
- 19) Burt JA, Feary DA, Bauman AG, Usseglio P, Cavalcante GH, Sale PF. Biogeographic patterns of reef fish community structure in the northeastern Arabian Peninsula. *Journal of Marine Science* 2011; 68: 1875- 1883.
- 20) Namin KS, Risk MJ, Zohari Z, Rezai H. Coral mortality and serpulid infestations associated with red tide, in the Persian Gulf. *Coral Reefs* 2010; 29: 509.
- 21) Shinn EA. Coral Reef Recovery in Florida and the Persian Gulf. *Environmental Geology* 1975; 1: 241- 254.
- 22) Riegl B. Corals in a non-reef setting in the southern Arabian Gulf (Dubai, UAE): fauna and community structure in response to recurring mass mortality. *Coral Reefs* 2009; 18: 63- 73.

- 23) Riegl B. Effects of the 1996 and 1998 positive sea-surface temperature anomalies on corals, coral diseases and fish in the Arabian Gulf (Dubai, UAE). *Marine Biology* 2002; 140: 29- 40.
- 24) Riegl B. Inhibition of reef framework by frequent disturbance: examples from the Arabian Gulf, South Africa, and the Cayman Islands. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2001; 175: 79-101.
- 25) Burt J, Al-Harhi S, Al-Cibahy A. Long-term impacts of coral bleaching events on the world's warmest reefs. *Marine Environmental Research* 2011; 72: 225- 229.
- 26) Sheppard C, Al-Husiani M, Al-Jamali F, Al-Yamani F, Baldwin R, Bishop J, Benzoni F, Dutrieux E, Dulvy NK, Durvasula SRV, Jones DA, Loughland R, Medio D, Nithyanandan M, Pilling GM, Polikarpov I, Price ARG, Purkis S, Riegl B, Saburova M, Namin KS, Taylor O, Wilson S, Zainal K. The Gulf: A young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin* 2010; 60: 13- 38.
- 27) Burt J, Bartholomew A, Usseglio P. Recovery of corals a decade after a bleaching event in Dubai, United Arab Emirates. *Marine Biology* 2008; 154: 27- 36.
- 28) Purkis SJ, Riegl B. Spatial and temporal dynamics of Arabian Gulf coral assemblages quantified from remote-sensing and *in situ* monitoring data. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES* 2005; 287: 99- 113.
- 29) Sale PF, Feary DA, Burt JA, Bauman AG, Cavalcante GH, Drouillard KG, Kjerfve B, Marquis E, Trick CG, Usseglio P, Lavieren HV. The Growing Need for Sustainable Ecological Management of Marine Communities of the Persian Gulf. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 2011; 40: 4- 17.
- 30) Burt J, Feary D, Usseglio P, Bauman B, Sale PF. The influence of wave exposure on coral community development on man-made breakwater reefs, with a comparison to natural reef. *BULLETIN OF MARINE SCIENCE* 2010; 86: 839-859.
- 31) Bauman AG, Burt JA, Feary JA, Marquis E, Usseglio P. Tropical harmful algal blooms: An emerging threat to coral reef communities? *Marine Pollution Bulletin* 2010; 60(11): 2117- 2122.

- 32) Namin KS, Rezai H, Kabiri K. Unique coral community in the Persian Gulf. *Coral Reefs* 2009; 28: 27.
- 33) Coles SL. Coral Species Diversity and Environmental Factors in the Arabian Gulf and the Gulf of Oman: A Comparison to the Indo-Pacific Region. National museum of natural history Smithsonian Institution, Washington DC. 2003.
- 34) Coles SL, Fadlallah YH. Reef coral survival and mortality at low temperatures in the Arabian Gulf: new species-specific lower temperature limits. *Coral Reefs* 1991; 9: 231-237.
- 35) Riegl B, Purkis SJ. Model of population response to accelerated bleaching and mass mortality in a changing climate. *Ecological Modelling* 2009; 220: 192-208.
- 36) Nadim F, Bagtzoglou AC, Iranmahboob J. Coastal management in the Persian Gulf region within the framework of the ROPME programme of action. *Ocean & Coastal Management* 2008; 51: 556-565.
- 37) Okamoto M, Yap M, Roeroe KA, Nojima S, Oyamada K, Fujiwara S, Iwata I. In situ growth and mortality of juvenile *Acropora* over 2 years following mass spawning in Sekisei Lagoon, Okinawa (24°N). *Fisheries Science* 2010; 76: 343- 353.

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科海洋システム工学専攻海洋計測工学研究室教授岡本峰雄博士には、多大な御指導御鞭撻を受け賜り、厚く御礼申し上げます。

岡本峰雄博士には、学部4年次から博士前期課程を通して3年間大変お世話になりました。

東京海洋大学海洋環境学科名誉教授古澤晶彦博士、東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科海洋システム工学専攻応用情報システム工学研究室准教授宮本佳則博士、海上安全工学研究室教授武田誠一博士、先端科学技術センター助教甘糟和男博士には、授業や研究を進めるにあたり平素より御助言を頂きましたことに感謝の意を表します。また、アブダビでの実験を進めるにあたってはアブダビ環境庁（Environment Agency-Abu Dhabi）生物多様性セクター沿岸環境部門（Coastal Zone Management Biodiversity Management Sector）研究員のMs.Suaad Saleh Al-Harthi、国際石油開発株式会社柴崎俊明さん、吉田智美さんには大変お世話になり、心より御礼申し上げます。

本研究室研究員のKakaskasen Andreas Roeroeさん、博士後期課程3年のMinlee Yapさん、松浦知彦さん、博士後期課程1年の田闊さん、博士前期課程2年の今井彩乃さん、杉田篤信さん、樋口直樹さん、博士前期課程1年の風巻宏太さん、福嶋慧さん、楊曉霞さん、学部生の伊藤菜津美さん、加藤太朗さん、小松亮佑さん、成瀬香さん、濱裕次郎さん、卒業生の今泉智人さん、元吉敏和さん、大門高久さん、毛塚大輔さん、石本大樹さん、板倉広起さん、小川誠記さん、田村勇一朗さん、平山輝暁さん、松山大志郎さん、鏡康典さん、高木絵菜さん、松本雄二さん、池本碧さん、金井羅門さん、作田寧之さん、山室悠太さん、小林未央さん、滝沢孝介さん、阿部知佳子さん、事務員を退職された佐野敏江さんには、日々の助言や励まし、また様々な面で支えとなり助けて頂きましたことを心より感謝申し上げます。

最後に、生活面において支えとなり、見守ってくれた家族と愛犬、友人達に心より感謝申し上げます。

卷末資料

本研究において、2010 年から 2011 年の 2 年間で得られたセラミック着床具へのサンゴ着生結果を記す。着生したサンゴの分類はハナヤサイサンゴ科 (Poc.), ミドリイシ属 (Acr.), ハマサンゴ科 (Por.), キクメイシ科 (Fav.), 同定不能 (Unk.) である。

設置海域：Al Dhabia（ケース番号：97, 98）

Saadiyat（ケース番号：94, 95）

2010年3月30－31日設置，2010年5月18－19日回収

ケース番号	束番号	段	個体番号	種類	直径(mm)	着生部位
97	2	12	1	Poc	2.80	下面溝
97	3	4	1	Poc	1.60	側面溝
97	4	9	1	Poc	2.50	下面溝
97	5	9	1	Poc	2.20	側面溝
97	5	12	1	Poc	1.70	下面溝
97	6	10	1	Poc	2.40	側面溝
97	6	10	2	Poc	2.80	下面溝
97	10	11	1	Poc	2.60	上面
98	1	7	1	Poc	1.90	上面
98	1	12	1	Poc	1.50	下面溝
98	2	5	1	Poc	2.70	スペーサー
98	2	9	1	Poc	3.10	下面溝
98	3	1	1	Poc	2.00	下面
98	3	5	1	Poc	1.90	下面溝
98	4	3	1	Poc	2.50	側面
98	4	11	1	Poc	3.80	上面
98	5	9	1	Poc	2.30	側面溝
98	5	9	2	Poc	1.80	下面溝
98	5	11	1	Poc	2.60	下面
98	5	12	1	Poc	2.60	スペーサー
98	5	12	2	Poc	2.00	下面溝
98	6	6	1	Poc	2.70	下面溝
98	6	7	1	Poc	2.50	下面溝
98	7	6	1	Poc	1.50	側面
98	7	7	1	Poc	3.00	側面
98	7	10	1	Poc	2.20	下面溝
98	7	11	1	Poc	2.40	下面
98	8	12	1	Poc	1.70	連結孔
98	9	4	1	Poc	1.80	下面溝
98	9	11	1	Poc	2.70	上面
98	9	12	1	Poc	3.50	下面溝
98	10	11	1	Poc	2.30	スペーサー

設置海域：Al Dhabia（ケース番号：16, 18）

Saadiyat（ケース番号：21, 25）

2010 年 4 月 22 日設置，2010 年 10 月 7－6 日回収

ケース番号	束番号	段	個体番号	種類	直径(mm)	着生部位
21	1	5	1	Fav	1.00	側面
21	1	8	1	Fav	1.70	下面溝
21	2	9	1	Fav	1.40	下面溝
21	3	9	1	Fav	1.60	上面
21	3	9	2	Fav	1.80	下面溝
21	3	12	1	Fav	1.90	下面溝
21	4	3	1	Fav	2.30	上面
21	4	5	1	Fav	0.60	側面溝
21	4	5	2	Fav	3.30	下面
21	4	10	1	Fav	1.30	下面溝
21	5	2	1	Fav	1.00	上面
21	5	3	1	Fav	2.10	スぺーサー
21	5	7	1	Fav	0.80	下面
21	6	6	1	Fav	1.50	上面
21	6	7	1	Fav	2.25	スぺーサー
21	6	11	1	Unk	0.50	スぺーサー
21	6	12	1	Fav	3.00	下面
21	7	3	1	Fav	1.25	下面
21	7	8	1	Fav	1.10	下面溝
21	7	10	1	Fav	1.25	スぺーサー
21	8	9	1	Fav	1.00	下面溝
21	9	4	1	Fav	1.05	上面
21	9	4	2	Fav	2.00	下面
21	9	6	1	Fav	1.10	下面
21	10	7	1	Fav	2.60	下面溝
21	10	8	1	Fav	1.40	下面溝
25	1	3	1	Fav	0.95	上面
25	1	4	1	Fav	2.35	下面溝
25	1	6	1	Fav	1.50	上面
25	1	6	2	Fav	1.45	下面溝
25	1	7	1	Fav	2.50	下面
25	1	11	1	Fav	2.15	上面
25	2	1	1	Fav	1.25	側面
25	2	4	1	Fav	1.80	下面
25	2	5	1	Fav	2.55	下面溝
25	2	6	1	Fav	1.50	側面溝
25	2	7	1	Fav	4.80	側面
25	2	7	2	Fav	1.35	スぺーサー
25	3	9	1	Fav	1.85	上面
25	3	9	2	Fav	1.00	下面
25	3	11	1	Fav	1.45	下面溝
25	4	6	1	Fav	0.85	下面溝
25	4	8	1	Fav	1.75	下面

25	5	4	1	Fav	0.45	側面溝
25	5	9	1	Fav	1.75	上面
25	6	2	1	Fav	1.25	側面
25	6	2	2	Fav	1.20	下面溝
25	8	11	1	Fav	1.25	下面
25	9	3	1	Fav	1.20	上面
25	9	9	1	Fav	1.30	下面
25	9	9	2	Fav	0.55	下面
25	9	11	1	Fav	0.90	下面溝
25	10	9	1	Fav	1.40	側面溝
25	10	10	1	Fav	1.90	上面

設置海域：Al Dhabia（ケース番号：19, 24）

Saadiyat（ケース番号：20, 22）

2010年5月18－19日設置，2010年10月7－6日回収

ケース番号	束番号	段	個体番号	種類	最大直径	着生部位
19	10	5	1	Por	0.75	上面
20	1	4	1	Fav	1.50	上面
20	1	8	1	Fav	1.75	上面
20	1	8	2	Fav	2.00	下面溝
20	1	9	1	Fav	3.00	下面溝
20	2	5	1	Fav	2.25	上面
20	2	10	1	Fav	5.50	上面
20	3	10	1	Fav	0.90	下面
20	3	12	1	Fav	0.90	スぺーサー
20	3	12	2	Fav	0.85	側面溝
20	4	3	1	Fav	1.10	下面溝
20	4	7	1	Fav	2.00	下面溝
20	4	8	1	Fav	1.15	側面
20	4	12	1	Unk	0.70	下面溝
20	5	6	1	Fav	1.80	側面
20	5	6	2	Fav	0.90	側面
20	5	9	1	Fav	1.10	上面
20	5	10	1	Fav	2.20	上面
20	5	12	1	Fav	0.90	下面
20	6	4	1	Fav	1.60	下面
20	6	5	1	Fav	1.75	側面
20	6	6	1	Fav	1.70	スぺーサー
20	6	6	2	Fav	1.20	下面溝
20	7	7	1	Unk	0.60	上面
20	7	9	1	Fav	4.50	上面
20	7	9	2	Fav	1.75	上面
20	7	11	1	Fav	1.25	下面
20	8	9	1	Fav	1.60	下面溝
20	8	9	2	Fav	1.00	下面
20	9	7	1	Fav	2.20	側面
20	9	9	1	Fav	2.25	上面
20	10	1	1	Fav	2.00	下面
20	10	2	1	Fav	1.50	上面
20	10	2	2	Fav	2.90	下面
20	10	2	3	Fav	4.20	下面溝
20	10	4	1	Fav	1.60	側面
20	10	4	2	Fav	1.40	下面
20	10	5	1	Fav	3.00	側面
20	10	5	2	Fav	1.75	側面
20	10	5	3	Fav	1.10	下面溝
20	10	6	1	Fav	1.00	上面
20	10	6	2	Fav	1.60	下面
20	10	9	1	Fav	2.00	上面
20	10	9	2	Fav	4.25	側面

20	10	10	1	Fav	1.40	スペーサー
22	1	8	1	Fav	1.00	上面
22	2	1	1	Fav	1.85	上面
22	2	6	1	Fav	0.55	側面溝
22	2	10	1	Fav	1.25	上面
22	2	12	1	Fav	2.50	下面溝
22	3	1	1	Fav	2.10	下面溝
22	3	2	1	Fav	1.70	上面
22	3	6	1	Fav	3.50	下面
22	3	12	1	Fav	1.80	下面
22	4	1	1	Fav	1.00	下面溝
22	4	1	2	Fav	1.20	上面
22	4	4	1	Fav	1.15	上面
22	4	6	1	Fav	1.70	側面
22	4	7	1	Fav	0.75	下面
22	4	8	1	Fav	1.40	下面
22	5	10	1	Fav	0.75	下面
22	6	3	1	Fav	1.50	上面
22	6	3	2	Fav	1.75	側面
22	6	4	1	Fav	0.85	上面
22	6	9	1	Fav	2.40	上面
22	6	10	1	Fav	1.00	スペーサー
22	6	12	1	Fav	2.70	下面
22	7	2	1	Fav	1.60	上面
22	7	2	2	Fav	4.25	下面溝
22	7	3	1	Fav	0.70	上面
22	7	12	1	Unk	0.60	下面
22	8	4	1	Fav	5.70	下面溝
22	8	12	1	Fav	1.90	下面
22	8	12	2	Fav	0.95	下面
22	9	1	1	Fav	2.10	上面
22	9	3	1	Fav	0.70	下面溝
22	9	4	1	Fav	2.50	下面溝
22	9	11	1	Fav	4.35	下面
22	9	12	1	Unk	0.50	上面
22	10	1	1	Fav	1.45	下面溝
22	10	4	1	Fav	1.25	下面
22	10	7	1	Fav	2.25	下面
22	10	8	1	Fav	1.35	側面溝
22	10	8	2	Fav	1.60	下面

設置海域：Al Dhabia（ケース番号：51, 71, 73, 81, 82, 83）

Saadiyat（ケース番号：7, 11, 13, 22, 34, 39）

2011 年 3 月 30－31 日設置，2011 年 10 月 10－11 日回収

ケース番号	束番号	段	個体番号	種類	直径(mm)	着生部位
7	1	7	1	Fav	2.40	スパーサー
7	3	8	1	Fav	1.60	下面
7	4	4	1	Fav	1.10	上面
7	4	5	1	Fav	3.50	下面
7	5	11	1	Fav	1.80	上面
7	6	7	1	Fav	1.50	上面
7	8	6	1	Fav	2.00	下面溝
7	9	1	1	Fav	2.40	下面溝
7	9	5	1	Fav	1.00	下面溝
11	1	3	1	Fav	1.20	下面溝
11	1	11	1	Fav	3.00	上面
11	3	4	1	Fav	1.25	上面
11	3	5	1	Fav	2.00	上面
11	4	6	1	Fav	2.40	側面
11	5	4	1	Fav	1.50	側面溝
11	5	10	1	Fav	1.70	上面
11	6	6	1	Fav	2.00	上面
11	6	9	1	Fav	2.10	下面
11	8	3	1	Fav	1.00	下面
11	8	7	1	Fav	1.30	上面
11	9	9	1	Fav	2.30	上面
11	10	3	1	Fav	1.75	上面
11	10	7	1	Fav	2.25	下面溝
11	10	11	1	Fav	2.50	下面
13	1	2	1	Fav	1.25	下面溝
13	1	5	1	Fav	2.75	上面
13	1	8	1	Fav	1.90	下面溝
13	2	4	1	Fav	1.10	側面溝
13	2	8	1	Fav	1.50	上面
13	2	9	1	Fav	1.75	下面
13	2	11	1	Fav	1.25	上面
13	3	7	1	Fav	3.00	上面
13	4	8	1	Fav	2.00	下面
13	5	4	1	Fav	1.50	下面溝
13	5	6	1	Fav	1.40	下面溝
13	6	5	1	Fav	3.50	スパーサー
13	7	4	1	Fav	1.75	下面溝
13	7	5	1	Fav	2.25	下面溝
13	7	5	2	Fav	1.00	上面
13	7	8	1	Fav	3.25	上面
13	9	1	1	Fav	3.00	上面
13	9	2	1	Fav	1.25	側面溝
13	9	10	1	Fav	1.25	下面
13	10	7	1	Fav	2.75	下面

22	1	2	1	Fav	1.60	上面
22	1	8	1	Fav	2.10	上面
22	1	11	1	Fav	0.50	下面溝
22	2	3	1	Fav	0.60	下面
22	2	9	1	Fav	3.00	下面溝
22	2	11	1	Fav	2.50	上面
22	4	1	1	Fav	4.10	上面
22	5	1	1	Fav	1.90	側面
22	5	7	1	Fav	2.40	上面
22	6	7	1	Fav	2.00	スぺーサー
22	9	2	1	Fav	2.20	上面
22	9	4	1	Fav	2.20	上面
22	9	6	1	Fav	1.10	下面
22	9	12	1	Fav	3.60	下面
22	10	5	1	Fav	1.00	スぺーサー
34	1	7	1	Fav	2.80	下面
34	1	10	1	Fav	2.60	下面溝
34	2	7	1	Fav	1.00	上面
34	2	10	1	Fav	1.10	上面
34	3	1	1	Fav	1.25	下面溝
34	3	6	1	Fav	2.50	上面
34	3	11	1	Fav	2.40	上面
34	3	11	2	Fav	1.40	上面
34	8	9	1	Ac	1.40	側面溝
34	9	6	1	Fav	2.00	上面
34	10	2	1	Fav	1.00	上面
34	10	7	1	Fav	1.75	上面
34	10	7	2	Fav	2.00	下面
34	10	7	3	Fav	2.25	スぺーサー
34	10	8	1	Fav	2.50	下面溝
34	10	10	1	Fav	2.00	上面
39	1	2	1	Fav	1.75	下面溝
39	1	7	1	Fav	2.40	下面
39	1	9	1	Fav	3.20	下面溝
39	1	11	1	Fav	1.50	下面
39	5	3	1	Fav	1.25	下面溝
39	5	7	1	Fav	2.70	下面溝
39	5	10	1	Fav	3.50	下面
39	5	12	1	Fav	2.40	下面溝
39	6	5	1	Fav	3.25	下面
39	8	1	1	Fav	2.00	上面
39	10	2	1	Fav	1.20	上面
39	10	9	1	Fav	1.70	下面溝
39	10	10	1	Fav	3.75	下面溝
51	4	3	1	Poc	1.60	下面溝
71	1	7	1	Por	1.25	上面
71	2	12	1	Poc	2.00	側面
73	1	8	1	Poc	2.00	下面溝
73	4	4	1	Poc	2.50	下面溝
81	6	5	1	Poc	1.20	側面溝

81	7	3	1	Por	1.40	下面溝
81	9	5	1	Poc	5.20	下面
81	9	10	1	Poc	3.00	側面
81	10	12	1	Poc	1.75	下面溝
81	10	12	2	Poc	1.70	下面溝
82	6	12	1	Poc	1.50	下面溝
82	7	5	1	Ac	1.00	下面溝
82	9	4	1	Poc	2.00	側面溝
82	9	12	1	Ac	1.00	側面溝
83	2	5	1	Poc	4.50	下面
83	5	3	1	Poc	2.20	側面
83	6	6	1	Poc	1.90	側面溝
83	10	11	1	Poc	1.80	下面溝